

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM OKSİT VE ALÜMİNYUM TİTANAT ÖRNEKLERİNDE FOTON ETKİLEŞİM
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

ÖZKAN BAYHATUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi NİMET ZAIM

EDİRNE-2018

Özkan Bayhatun' un hazırladığı "Alüminyum Oksit ve Alüminyum Titanat Örneklerinde Foton Etkileşim Parametrelerinin İncelenmesi" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Fizik Anabilim Dalında bir Yüksek lisans olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Nimet ZAIM

Prof. Dr. Ayşen HAKSEVER

Prof. Dr. Selim KARA

İmza



Tez Savunma Tarihi: 12/10/2018

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Nimet ZAIM

Tez Danışmanı



Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Murat YURTCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TRAKYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

12/10/2018

Özkan BAYHATUN

İmza



Yüksek Lisans Tezi

Alüminyum Oksit ve Alüminyum Titanat Örneklerinde Foton Etkileşim Parametrelerinin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

ÖZET

Son yıllarda radyoizotop kullanımının çeşitli alanlarda hızla artması, nükleer çalışmalarda radyasyondan korunma probleminin de bir araştırma konusu olarak öne çıkmasına neden olmuştur. Literatürde farklı elementlerin; doğal veya yapay bileşiklerin, kompozitlerin radyasyonu zayıflatma özellikleri açısından incelendiği çalışmalara sıkça rastlamak mümkündür. Radyasyonun yıkıcı etkilerine karşı korunmak için yeni malzemelerin keşfi, günümüzde, önemli bir araştırma konusudur. Bu projede, bu amaçla alüminyum oksit ve alüminyum titanat bileşiklerinin zırlama malzemesi olarak, özellikleri incelemiştir.

Numunelerimiz mikrometre ve nanometre boyutlarındaki alüminyum oksit ve alüminyum titanat tozlarıdır. Bu numuneler toz olarak ve sıkıştırılmış diskler olarak incelendi.

Bu çalışmada numuneler dar demet geometrisinde, gama transmisyon (geçiş) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Gama geçiş tekniği; kullanılan gama kaynağının radyasyon yoğunluğunun, detektör tarafından ölçülen, örneksiz ve örnekli, ölçümlerinin oranına dayanır.

Malzemelerin gama radyasyonunu zayıflatmasına ilişkin farklı parametrelerinin deneysel olarak tespitine çalışılmıştır. Lineer zayıflatma katsayıları radyasyondan korunma açısından malzemelerin önemli bir özelliğidir. Kütle zayıflatma katsayıları ise, malzemelerin yoğunluğundan bağımsız olduğu için kullanımı daha uygundur. Bu çalışmada, numunelerin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ölçülmüştür. Teorik kütle zayıflatma katsayıları “Photon Cross Section Database” XCOM bilgisayar kodu kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçlar literatürdeki çalışmalarla değerlendirilmiştir.

Malzemelerin gama radyasyonunu zayıflatma etkisini tanımlayan diğer iki parametre; yarı-değer kalınlığı ve onda-bir değer kalınlığı olup, numunelerin lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır.

Alüminyum bileşiklerinin boyutları mikrometre ve nanometre mertebesindedir ve Trakya Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (TÜTAGEM)’ de, hidrolik soğuk pres (“Füzyon Frekansı ” markası, 40 kPa) yöntemi kullanılarak, alüminyum bileşiklerinden diskler hazırlanmıştır. Numuneler 1173.2 keV ve 1332.5 keV gama enerjilerine sahip Co-60 ve 661.7 keV gama enerjisine sahip Cs-137, gama kaynakları kullanılarak incelenmiştir. Ölçümler (sayımlar) 3x3 inches NaI (TI) içeren, sintilasyon detektörü (çok kanallı bir analizörün 13384 kanallı) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada alüminyum Oksit ve alüminyum titanat numuneleri hem toz hem de disk olarak incelendi. Toplam lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı-değer (HVL) ve onda-bir değer (TVL) kalınlıkları deneysel olarak hesaplandı, sonuçlar literatür ile karşılaştırıldı.

Yıl : 2018

Sayfa Sayısı : 108

Anahtar Kelimeler : Alüminyum oksit, Alüminyum titanat, lineer zayıflama katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı

Master Thesis

An Investigation of Photon Interference Parameters in Aluminium Oxide and Aluminium Titanate Samples.

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Physics

ABSTRACT

Increasing widespread usage of radioisotopes in recent years created a protection problem and the shielding became important as a solution. We conduct a literature search to obtain radiation attenuation properties of some materials. Elements, natural or artificial compounds, composites have been searched. The discovery of novel materials that are needed to protect against the destructive effects of radioactivity is important. In order to reach this aim, aluminium oxide and aluminium titanate have been investigated in this project, to determine their suitability to be used as shielding materials.

Our samples, aluminium oxide and aluminium titanate, are powder and their dimensions are in the scale of micrometre and nanometre. These samples were examined as powder and also as compressed tablets.

In this study samples were studied using gamma transmission technique with narrow beam. Gamma transmission technique is based on the ratio of measured radiation from the gamma source without sample and with sample.

The different parameters related to gamma radiation attenuation of the materials were studied. The linear attenuation coefficients is an important property of materials in terms of radiation protection. The mass attenuation coefficient also more convenient, as it is

independent of density of material. In this study, the linear and mass attenuation coefficients of the samples were measured. The theoretical mass attenuation coefficients were obtained by using “Photon Cross Section Database” (XCOM) computer code. The experimental and theoretical results will be compared and results will be evaluated by using the literature.

The parameters that describes effectiveness of gamma ray shielding of materials are the half value layer and tenth value layer, also were calculated from the linear attenuation coefficients for studied samples.

Aluminium composite samples with different sizes of particles (micron to nano meter) will be prepared with a hydraulic cold press ("Fusion Frequency" brand, 40 kPa) at Trakya University, Technology Research and Development Application and Research Center (TÜTAGEM). These samples were investigated against 1173.2 keV and 1332.5 keV gamma lines of Co-60 and 661.7 keV of Cs-137 gamma radioisotope sources. The sample counting procedures were carried out using gamma ray spectrometry consisting of a 3x3 NaI(Tl) detector to a 13384-channel multichannel analyser.

We investigated the total linear and mass attenuation coefficients, half value (HVL) and tenth value layers (TVL) of aluminium oxide and titanate samples both as powder and disk. The obtained results were compared to the literature results.

Year :2018
Number of Pages :108
Keywords : Aluminium oxide, Aluminium titanate, linear attenuation coefficient, mass attenuation coefficient.

TEŐEKKÖRLER

Bu tez çalıőmamda benden desteğini esirgemeyen, beni sabırla dinleyen, bilgilerini benimle paylaőan, her sorun yaőadıęımda yanına çekinmeden gidebildiğim danıőma hocam Dr. Nimet ZAIM' e en içten teőekkÖrlerimi sunarım.

Uzman GÖner Tezcan' a örnek hazırlamada gÖsterdiği sabır ve yardımlarından dolayı teőekkÖr ederim.

Çalıőmamda desteğini ve bana olan gÖvenini benden esirgemeyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eőime ve moral kaynağım olan canım kızıma teőekkÖrlerimi sunarım.

Tez çalıőmam 2016-128 numaralı TÖBAP Projesi tarafından desteklenmiőtir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜRLER.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
EKLER.....	xv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2.....	4
KURAMSAL BİLGİ.....	4
2.1. Etkileşim Süreçleri.....	5
2.1.1. Fotoelektrik Soğurma.....	6
2.1.2. Compton Saçılımı.....	8

2.1.3. Çift Oluşum.....	13
2.2. Üssel zayıflama.....	16
2.2.1. Gama-Işını Zayıflamasının Temel Kanunu.....	16
2.2.2. Toplam Kütle Zayıflatma Katsayısı.....	18
2.2.3. Yarı değer ve onda bir değer kalınlıkları.....	20
BÖLÜM 3.....	22
MATERYAL VE METOT.....	22
3.1 İncelenen Materyaller; Alüminyum Oksit, Alüminyum Titanat.....	22
3.2. Mikro ve Nano Mertebe Alüminyum Oksit ve Alüminyum Titanat Örneklerinin Hazırlanması.....	23
3.3. Deney Düzeneyi ve Raylı Sistem.....	28
3.4. Gama kaynakları.....	30
3.5. Dedektör-radyasyon ölçüm sistemleri.....	31
3.5.1. İyon Odaları.....	31
3.5.2. Geiger - Müller sayaçları.....	33
3.5.3. Sintilasyon Sayaçları.....	33
3.5.4. Katı Hal Dedektörleri.....	37
3.5.5. Nükleer Spektroskopi Sistemi.....	38
3.5.6. Enerji Kalibrasyonu.....	40
3.5.7. Yarı yükseklikte Maksimum Genişliği(Full With Half MaximumFWHM...)	42

BÖLÜM 4	44
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	44
4.1. Tartışmalar.....	55
KAYNAKLAR	62
EK	65
ÖZGEÇMİŞ	90
BİLİMSEL FAALİYETLER	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamalar
α	Alfa
Ba	Baryum
Be	Berilrum
β	Beta
e^-	Elektron
γ	Gama
Cs -137	Sezyum 137
λ	Lamda
Co-60	Kobalt 60
NaI(TI)	Sodyum iyodür
μCi	Mikro curie
e^+	Pozitron
μ	Lineer zayıflatma katsayısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
Al_2O_3	Alüminyumoksit
$\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$	Alüminyumtitanat
GeV	Ciga Elektron Volt
keV	Kilo Elektron Volt

TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
TÜTAGEM	Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi
MeV	Mega Elektron Volt
MTA	Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü 2015
XCOM	Foton Tesir Kesitleri Veri Tabanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 2.1. Nal'nin fotoelektrik emilim, Compton saçılımı ve çift oluşumundan katkılarını kurşun için ($Z=82$, $\rho=11.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) gösteren lineer sönümlenme katsayıları.....5
- Şekil 2.2. Fotoelektrik soğurmanın şematik bir gösterimi.....6
- Şekil 2.3. Kurşunun fotoelektrik kütle zayıflatma katsayısı.....8
- Şekil 2.4. Compton Saçılımı.....8
- Şekil 2.5. Saçılma açısı ve uyarıcı gama ışını enerjisinin (E_γ) bir fonksiyonu olarak Compton saçılımlı elektronların enerjisi. Keskin süreksizlik, tek bir saçılmada aktarılabilen maksimum enerjiye karşılık gelmektedir.....10
- Şekil 2.6. Cs-137'nin tam enerjili foto-piki, Compton olayını ve 662 keV'luk gama ışınından gelen geri saçılma pikini gösteren yüksek çözünürlüklü spektrumu. Foto-pikin altındaki olaylar detektör ve çevreleyen madde içindeki Compton saçılmasından kaynaklanmaktadır.....12
- Şekil 2.7. Compton olayı enerjisi, uyarıcı gama ışını enerjisine karşı.....12
- Şekil 2.8. Çift oluşumunun şematik bir gösterimi.....13
- Şekil 2.9. Bir germanyum detektöründeki 2186 keV gama ışınının çift oluşumu etkileşimlerinden dolayı ortaya çıkan tek kaçış (SE) ve çiftli kaçış (DE) piklerini (1674 ve 1163) gösteren ^{144}Pr fisyon ürünü gama ışını spektrumu.15

Şekil 2.10. Temel gama-ışını zayıflatma kanunu: zayıflayan gama-ışını yoğunluğu I, gama-ışını enerjisinin, soğurucu bileşenin ve soğurucunun bir fonksiyonudur.....	16
Şekil2.11. Kurşun soğurucu için gama geçişleri.....	17
Şekil 2.12. Seçilmiş elementlerin kütle sönümlenme katsayıları. Ayrıca uranyum ve plütonyumun tahribatsız deneylerinde sıkça karşılaşılan gama ışını enerjilerinde gösterilmektedir.....	20
Şekil 3.1. Al ₂ O ₃ mikrometre.....	24
Şekil 3.2. Al ₂ O ₃ ,TiO ₃ mikrometre	24
Şekil 3.3. Al ₂ O ₃ nanometre.....	25
Şekil 3.4. Al ₂ O ₃ ,TiO ₃ nanometre.....	25
Şekil 3.5. Al ₂ O ₃ mikrometre.....	26
Şekil 3.6. Al ₂ O ₃ nanometre.....	26
Şekil 3.7. Al ₂ O ₃ ,TiO ₃ mikrometre mm The SEM views of ;mm sample Al ₂ O ₃ ,TiO ₂	27
Şekil 3.8 . Al ₂ O ₃ ,TiO ₃ nanometre mm The SEM views of Al ₂ O ₃ ,TiO ₂ ;nm sample.....	27
Şekil 3.9. Raylı Düzeneğin Şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.10. İyon Odalarının Çalışma Prensibi.....	31
Şekil 3.11. Farklı Voltajlarda İyonizasyon Odalarının İşlemem Şartları.....	32
Şekil 3.12. Fotoçoğaltıcının Şematik Olarak İşleme Prensibi.....	34
Şekil 3.13. Sintilasyon Dedektörünün Şematik Kesiti.....	35
Şekil 3.14. Sintilasyon Dedötörü.....	36
Şekil 3.15. Yarı-iletken Dedöktörün Şematik Gösterimi.....	37

Şekil 3.16. Nükleer Spektroskopi Sistemi.....	38
Şekil 3.17. Filtre Kağıdına Toplanmış NaI(Tl) ve Ge(saf) detektörleri ile alınmış spektumlar.....	39
Şekil 3.18. Bir enerji değeri için kanala karşılık gelen sayım sayısı.....	40
Şekil 3.19. Enerji kalibrasyon eğrimiz.....	41
Şekil 3.20. Yarı maksimum genişliği.....	42
Şekil 4.1. Lineer zayıflatma katsayısının gama enerjisine göre değişimi.....	49
Şekil 4.2. $Al_2O_3(\mu m)$, $Al_2O_3(nm)$, $Al_2O_3.TiO_2(\mu m)$ ve $Al_2O_3.TiO_2(nm)$ örnekleri için 661.7keV, 1173.2 keV ve 1332.5 keV ölçülen μ değerleri.....	50
Şekil 4.3. Yoğunlukla lineer zayıflatma katsayısının değişimi.....	51
Şekil 4.4. Lineer, deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının 661.7 keV gama enerjisinde yoğunlukla değişimi.....	52
Şekil 4.5. Lineer, deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının 1173.2 keV gama enerjisinde yoğunlukla değişimi.....	52
Şekil 4.6. Lineer, deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının 1332.5 keV gama enerjisinde yoğunlukla değişimi.....	53
Şekil 4.7. HVL Değerinin enerji ile değişimi.....	54
Şekil 4.8. TVL Değerinin enerji ile değişimi.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

- Çizelge 4.1. Al_2O_3 (μm), Al_2O_3 (nm) (disk ve toz) örneklerinin farklı enerjilerde ve geometrilere ölçülen toplam doğrusal ve kütle zayıflatma katsayıları ve teorik değerleri.....47
- Çizelge 4.2. Al_2O_3, TiO_2 (μm), Al_2O_3, TiO_3 (nm) (disk ve toz) örneklerinin farklı enerjilerde ve geometrilere ölçülen toplam doğrusal ve kütle zayıflatma katsayıları ve teorik değerleri.....48
- Çizelge 4.3. $Al_2O_3(\mu m)$, $Al_2O_3(nm)$, $Al_2O_3.TiO_2(\mu m)$ ve $Al_2O_3.TiO_2(nm)$ Yoğunlukları.....49
- Çizelge 4.4. $Al_2O_3(\mu m)$, $Al_2O_3(nm)$ ve $Al_2O_3.TiO_2(\mu m)$, $Al_2O_3.TiO_2(nm)$ numunelerinin üç gama kaynağı için liner ve kütle zayıflatma katsayısı..58

EKLER DİZİNİ

- Ek 1. Al_2O_3 μm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....66
- Ek 2. Al_2O_3 μm (toz), örneklerinin Co-60,1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....67
- Ek 3. Al_2O_3 μm (toz), örneklerinin Co-60,1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....68
- Ek 4. Al_2O_3 nm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....69
- Ek 5. Al_2O_3 nm (toz), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....70
- Ek 6. Al_2O_3 nm (toz), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....71
- Ek 7. $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ μm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....72
- Ek 8. $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ μm (toz), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....73

Ek 9. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ µm (toz), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	74
Ek 10. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ nm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	75
Ek 11. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ nm (toz), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	76
Ek 12. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ nm (toz), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	77
Ek 13. Al ₂ O ₃ µm (disk), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	78
Ek 14. Al ₂ O ₃ µm (disk), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	79
Ek 15. Al ₂ O ₃ µm (disk), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	80
Ek 16. Al ₂ O ₃ nm (disk), örneklerinin Cs-137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	81
Ek 17. Al ₂ O ₃ nm (disk), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	82
Ek 18. Al ₂ O ₃ nm (disk), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	83
Ek 19. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ µm (disk), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	84
Ek 20. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ µm (disk), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	85

Ek 21. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ µm (disk), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	86
Ek 22. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ nm (disk), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	87
Ek 23. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ nm (disk), örneklerinin C0-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları.....	88
Ek 24. Al ₂ O ₃ .TiO ₂ nm (disk), örneklerinin C0-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları	89

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

Doğal ve yapay radyasyonun keşfi ile radyoizotopların kullanımı bilim ve teknikte olduğu kadar günlük hayatımızda da artan bir biçimde yaygınlaşmaktadır. Uygulama alanları olarak: Nükleer santralleri, tıpta teşhis ve tedavi yöntemlerini, tıbbi malzemelerin sterilizasyonunu, tarım ve hayvancılıkta parazitlerin zararlı etkileri ile mücadeleyi ve üretimin artırılması çalışmalarının; imalat ve ürün geliştirilmesi aşamalarında kalite kontrolü, ürün kalitesinin artırılması, atık dönüşümünü, arkeometriyi, nötron üretimini ve astrofiziksel nükleosentez çalışmalarını sıralayabiliriz (Krane, 2006).

Nükleer teknolojinin yaygınlaşması, “radyasyondan korunma” problemini birlikte getirmiştir ve bu problem nükleer teknolojinin önemli bir araştırma konusudur. Radyasyondan korunmayı başlıca mesafe, zaman ve zırhlama olmak üzere üç başlıkta toplayabiliriz. Zırhlama tekniği en etkili ve kullanışlı yöntem olup, kısaca radyasyondan korunacak sistemle radyasyon kaynağı arasında, radyasyonu soğuracak malzeme kullanılmasıdır.

Bu aşamada radyasyonu zayıflatma özelliği yüksek, kullanımı kolay ve ekonomik bir malzeme üretimi için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Kullanılan malzemeler doğal, bileşik, kompozit, inorganik ve organik malzemeler olarak gruplanabilir.

Bu tezde alüminyum oksit ve alüminyum titanat bileşikleri, toz ve preslenmiş halde incelenmiştir. Toz halindeki bileşiklerinde parçacıklarının boyutları da mikrometre ve nanometre mertebesinde. Toz halinde incelenen örnekler “Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi” (TÜTAGEM) de basınçla disk haline getirilerek aynı inceleme tekrarlanmıştır.

Radyoaktif madde tarafından atılan başlıca alfa, beta ve gama parçacıklarından gama, enerjisi ve erimi yüksek olduğundan, gama zayıflatma özelliği malzemenin önemli bir nükleer özelliğidir.

Bir malzemenin gama radyasyonu zayıflatma parametrelerinin başında toplam lineer ve kütle zayıflatma katsayıları gelir. Foton madde ile fotoelektrik etkileşme, Compton saçılması ve çift oluşumu olmak üzere başlıca üç şekilde etkileşir. Bir malzeme için, belirli bir gama enerjisinin malzeme ile bu üç farklı etkileşme tesir kesiti ve zayıflatma katsayıları, buna bağlı olarak zayıflatma olasılığı farklıdır. Toplam lineer zayıflatma katsayısı bu üç etkileşme olasılığının toplamını ifade eder (Tsoufanidis, 1995).

Her türlü etkileşme olasılığı fotonun enerjisine, malzemenin yoğunluğuna, kütle numarasına bağlıdır. Lineer zayıflatma katsayısı yoğunluğa bağlı iken, kütle zayıflatma katsayısı malzemenin yoğunluğundan bağımsız, daha kullanışlı bir niceliktir (Knoll, 2000). Deneysel olarak bulduğumuz kütle zayıflatma katsayılarını, XCOM veri tabanındaki teorik değerler ile karşılaştırdık.

İncelenen örneğin radyasyondan korunma parametreleri olarak, yarı-değer, ondabir-değer kalınlıkları da sayılabilir.

Araştırmada dar demet geometrisinde gama geçiş tekniği kullanılmıştır. Deney sonuçları Beer-Lamberts kanunu; $I = I_0 e^{-\mu x}$ kullanılarak toplam lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır, burada x; örneğin kalınlığı, I_0 ; belirlenen enerjide, soğurucu söz konusu olmadan, gama ışınının yoğunluğunu gösteren sayım sayısı, I; soğurmadan sonra, gama ışınının yoğunluğunu gösteren sayım sayısıdır (Medhat, 2009)

Sayımlar bir sintilasyon detektörü olan, 3x3 NaI(Tl) kullanılmış, “multichannel analyser” gama detektörü ile alınmıştır.

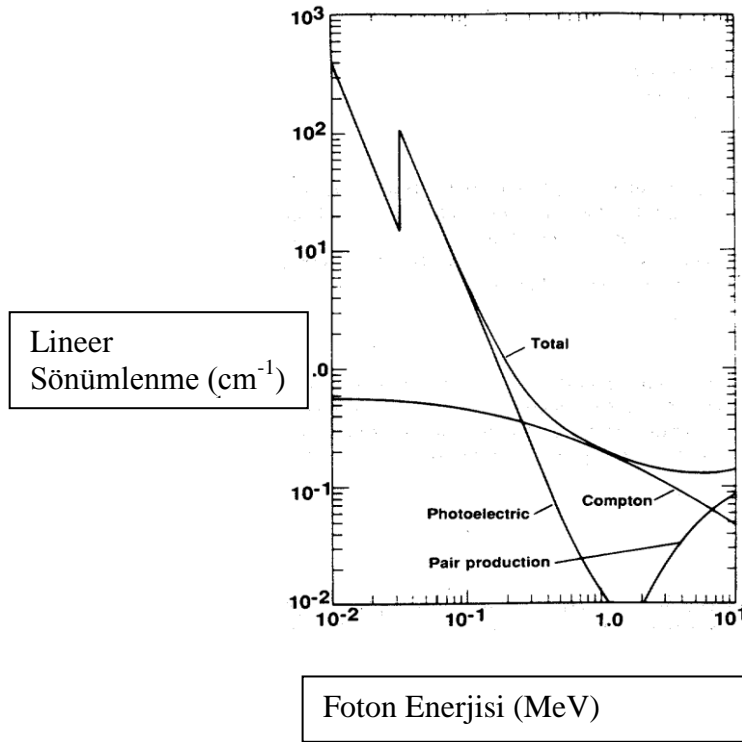
Bu tezde alüminyum oksit, aluminium titanat bileşiklerinin toz ve tablet örneklerinin toplam lineer, kütle zayıflatma katsayıları ve yarı-değer, ondabir-değerleri hesaplanmış, deneysel sonuçlar teorik sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Elde edilen zayıflatma değerleri literatürdeki sonuçlar ile de karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİ

Gama-ışınının madde ile etkileşimleri hakkında bilgi sahibi olmak, gama-ışınının tespiti ve onun yıkıcı etkilerinden korunmak adına önemlidir. Bir gama ışınının “görülebilmesi” için bir detektörle etkileşime girmesi şarttır. Her ne kadar uranyumun ve plütonyumun ana izotopları gama ışınlarını sabit enerjilerde ve hızlarda (yoğunluk) yayıyor olsalar da, gama-ışını yoğunluğu, her zaman gama-ışınının malzeme ile etkileşime girmesinden ötürü farklı oranlarda azalır. Bu azalma gama ışının enerjisine bağlı olduğu kadar malzemenin özelliklerine de bağlıdır. Örneğin, sintilasyon dedektörü (NaI) de, kurşun için lineer azaltma katsayısının enerjiye göre değişimi Şekil 2.1’ de görülmektedir. Gama ışını tahribatsız deney cihazları kullanılırken veya bizim çalışmamızdaki gibi gama ışını zayıflatma parametreleri hesaplanırken bu azalma/sönümlenme dikkatli bir biçimde ele alınmalıdır.

Bu bölümde gama ışınlarının yığın malzemeler içindeki üssel zayıflaması ve ana gama-ışını etkileşimleri açıklanmaktadır.



Şekil 2.1. Nal'nin fotoelektrik emilim, Compton saçılımı ve çift oluşumundan katkılarını kurşun için ($Z=82$, $\rho=11.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) gösteren lineer sönümlenme katsayıları

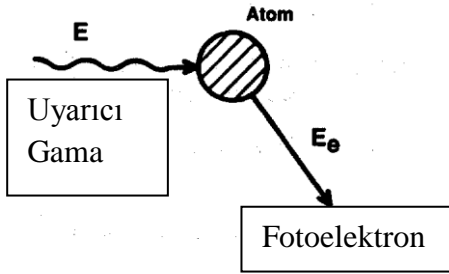
2.1. Etkileşim Süreçleri (www.lanl.gov/orgs/n/nl/panda/00326397.pdf)

Gama ışını uygulama alanlarında çalışan deneyçilerin ilgilendiği gama ışınları 10'dan 2000 keV'ye kadar bir aralıkta yer alır ve detektörler ve soğurucularla üç ana süreçte etkileşime girer: fotoelektrik soğurma, Compton saçılımı ve çift oluşumu. Fotoelektrik soğurma sürecinde gama ışınları enerjilerinin tamamını tek bir etkileşimde kaybederler. Bu sürecin olasılığı oldukça güçlü bir biçimde E_γ gama ışını enerjisine ve Z atom numarasına bağlıdır (Tsoulfanidis, 1995). Compton saçılımında gama ışını tek bir etkileşimde enerjisinin sadece bir kısmını kaybeder. Bu sürecin olasılığı E_γ ve Z 'ye zayıf

bir biçimde bağlıdır. Gama ışını, bir çift oluşum etkileşiminde enerjisinin tamamını kaybedebilir.

2.1.1. Fotoelektrik Soğurma

Bir gama ışını bağlı bir atom elektronuyla bütün enerjisi yitirebileceği bir şekilde etkileşime girebilir ve gama ışını olarak varlığı sona erer (Şekil 2.2). Gama ışını enerjisinin bir kısmı elektron bağlanma enerjisinin üstesinden gelmek için kullanılır ve kalan enerjinin çoğu serbest kalan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Geri çekilen enerjinin oldukça küçük bir kısmı ivmenin muhafazası için atomda kalır. Buna fotoelektrik soğurma denir, çünkü bu süreç 1887’de Hertz tarafından keşfedilen; görünür ışıktaki fotonların metal bir yüzeyden elektronları serbest bıraktığı olay ile gama ışınının etkileşim sürecinin arasındaki benzerlikten dolayıdır. Fotoelektrik soğurma gama ışını tespiti açısından önemlidir çünkü gama ışını bütün enerjisini verir ve bunun sonucunda ortaya çıkan darbe de tam enerji pikine denk düşer.



Şekil 2.2. Fotoelektrik soğurmanın şematik bir gösterimi

Fotoelektrik soğurmanın olasılığı gama ışını enerjisine, elektron bağlama enerjisine ve atomun atom numarasına bağlıdır. Dolayısıyla bu olasılık elektrona bağlıdır: bu nedenle de gama ışını enerjisi K elektronu bağlama enerjisini aştığında, K elektronları en çok etkilenen elektronlardır (etkileşimlerin %80’den fazlası K elektronlarını içerir). Etkileşimin

kurşun ve uranyum gibi ağır atomlar ve düşük enerjili gama ışınları için daha önemli olduğunu gösteren Denklem 2.1. ile olasılık yaklaşık olarak verilmiştir.

τ : fotoelektrik kütle zayıflatma katsayısı olmak üzere

$$\tau \propto Z^4 / E_\gamma^3 \quad (2.1)$$

Bu orantılılık sadece yaklaşık bir orantılılıktır. Çünkü Z 'nin üsteli 4.0 ile 4.8 arasında çeşitlilik gösterir. Gama ışını enerjisi düştükçe fotoelektrik soğurma hızlı bir biçimde artar (Şekil 2.1). Fotoelektrik soğurma düşük enerjili gama ışınları, X-ışınları ve frenleme ışınımı için baskın etkileşimdir.

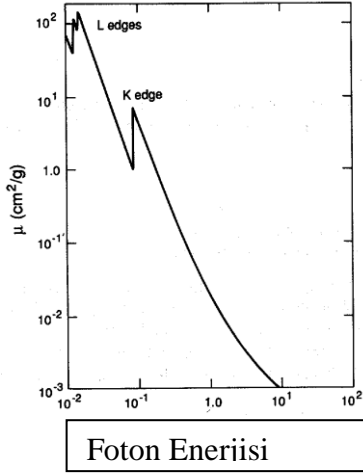
Etkileşim vasıtasıyla ortaya salınan fotoelektronunun enerjisi (E_e), gama ışını enerjisi E_γ ve elektron bağlayıcı enerji E_b arasındaki farka eşittir, Denklem 2.2.

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad (2.2)$$

Çoğu detektörde fotoelektron, genliği fotoelektronca depolanan enerjiyle orantılı olan küçük bir çıktı darbesi yayan aktif detektör hacminde çabuk bir biçimde durdurulur. Elektron bağlanma enerjisi kaybolmaz, ancak karakteristik X-ışınları fotoelektronlarla birlikte yayınlanır. Çoğu kez X-ışınları fotoelektronlarla birlikte absorbe edilir ve çıkış pulsu gama radyasyonunun toplam enerjisiyle orantılıdır. Düşük enerjili gama ışınları için küçük dedektörlerde önemli sayıda K elektronlarından kaynaklanan X-ışınları gözlenemez; bunların neden olduğu pikler full enerji piklerinin altında kalır.

Şekil 2.3' te kurşunun fotoelektrik kütle zayıflatma katsayısı gösterilmektedir. Enerji düştükçe etkileşim olasılığı hızlı bir biçimde artar, fakat ardından bir gama ışını enerjisinde K-elektronunun bağlama enerjisinin hemen altında çok daha küçük bir hale gelir. Bu süreksizliğe K kenarı denir; bu enerjinin altında gama ışınları bir K-elektronunu yerinden çıkartabilecek yeterlikte enerjiye sahip olmazlar. K kenarının altındayken enerji L elektronlarının bağlama enerjisinin altına düşene kadar etkileşim olasılığı tekrar artar; bu

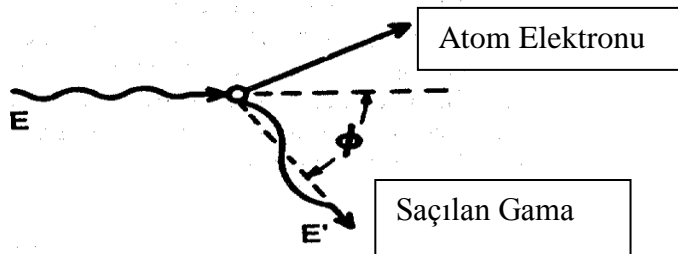
süreksizliklere LI, LII ve LIII kenarları denir. Bu soğurma kenarlarının varlığı yoğunluk ölçüm ve X-ışını floresan ölçümleri açısından önemlidir.



Şekil 2.3. Kurşunun fotoelektrik kütle zayıflatma katsayısı

2.1.2 Compton Saçılımı

Compton saçılımı, bir gama ışınının serbest veya zayıf bir biçimde bağlı ($E_\gamma \gg E_b$) bir elektronla etkileşime geçtiği ve enerjisinin bir kısmını elektrona aktardığı süreçtir (Şekil 2.4). Elektron atoma yeteri kadar sıkı bağlı değilse, geri tepme enerjisinin absorplanması için, enerji ve momentum korunumu gereği, enerjinin bir kısmının aktarılmasına izin verilir. Bu etkileşim atomun dışında yer alan ve en az sıklıkta atoma bağlı olan elektronlarla gerçekleşir. Elektron, gama ışını enerjisi ile elektron bağlama enerjisi farkı kadar enerjiye eşit kinetik enerjisi olan bir serbest elektrona dönüşür.



Şekil. 2.4. Compton Saçılımı

Elektron bağlama enerjisi gama ışını enerjisine kıyasla oldukça küçük bir enerji olduğu için elektronun kinetik enerjisi neredeyse gama ışınınca kaybedilen enerjiye eşit olur:

E_e :saçılan elektronun enerjisi

E_γ : uyarıcı gama ışınının enerjisi

E' :saçılan gama ışınının enerjisi

olmak üzere

$$E_e = E_\gamma - E_\gamma' \quad (2.3)$$

denklem 2.3. yazılır.

Etkileşim alanını iki partikül terk eder: serbest kalan elektron ve saçılan gama ışını. Elektronun ve saçılan gama ışınının yönleri etkileşim esnasında elektrona aktarılan enerjinin miktarına bağlıdır. Denklem 2.4. saçılan gama ışınının enerjisini vermektedir ve Şekil 2.5' de saçılma açısı ve uyarıcı gama ışını enerjisinin bir fonksiyonu olarak saçılan elektronun enerjisi gösterilmektedir.

m_0c^2 : elektronun durgun kütle enerjisi = 511 keV

\emptyset = uyarıcı ve saçılan gama ışınları arasındaki açı (Şekil 2.5)

$$E' = m_0c^2 / (1 - \cos \emptyset + m_0c^2 / E) \quad (2.4)$$

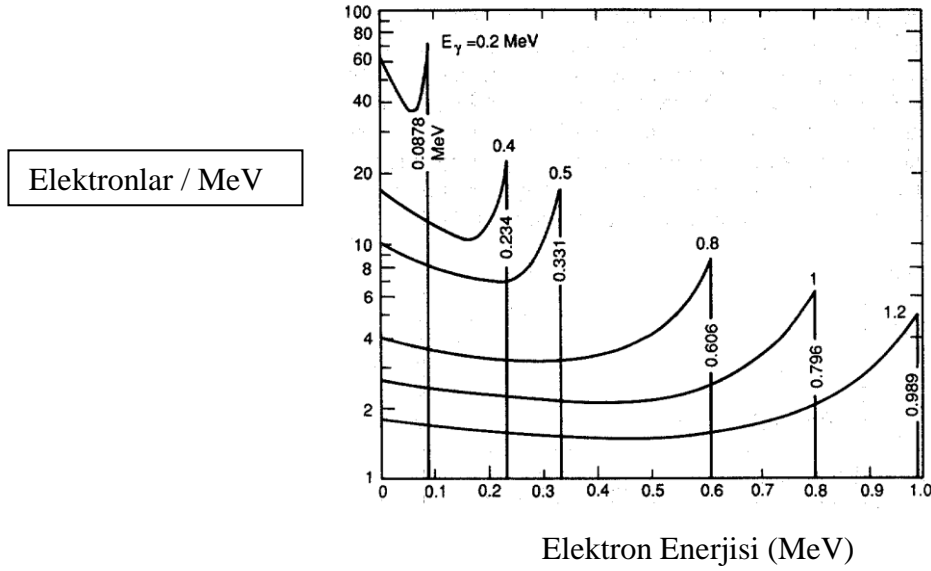
Bu enerji, gama ışınının 180° saçıldığı ve elektronun uyarıcı gama ışını yönünde hareket ettiği kafa kafaya çarpışmalarda minimum seviyededir. Bu vaka için saçılan gama ışınının enerjisi Denklem 2.5. ve saçılan elektronun enerjisi Denklem 2.6. ile verilmektedir:

$$E'(\min) = m_0c^2 / (2 + m_0c^2 / E)$$

$$\cong m_0c^2 / 2 = 256 \text{ keV}; \quad \text{eğer } E \gg m_0c^2 / 2 \quad (2.5)$$

$$Ee(\max) = E / [1 + m_0c^2 / (2E)]$$

$$\cong E - m_0c^2 / 2 = E - 256 \text{ keV}; \quad \text{eğer } E \gg m_0c^2 / 2 \quad (2.6)$$



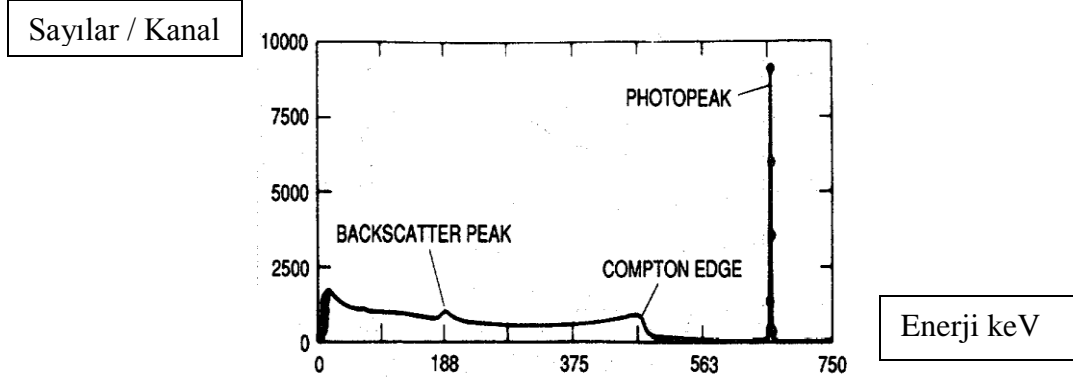
Şekil 2.5. Saçılma açısı ve uyarıcı gama ışını enerjisinin (E_γ) bir fonksiyonu olarak Compton saçılımlı elektronların enerjisi. Keskin süreksizlik, tek bir saçılmada aktarılabilen maksimum enerjiye karşılık gelmektedir.

Çok küçük açılı saçılmalar için ($\theta \cong 0^\circ$) saçılan gama ışınının enerjisi uyarıcı gama ışınının enerjisinden çok az düşüktür ve saçılan elektron etkileşimden çok az bir enerji alır. Saçılan elektrona verilen enerji yaklaşık sıfırla Denklem 2.6' de verilmiş maksimum arasında çeşitlilik gösterir.

Bir detektörde Compton saçılması ortaya çıktığı zaman saçılan elektron genellikle dedektörde durdurulur ve detektör, uyarıcı gama ışınınca kaybedilmiş enerjiyle orantılı bir

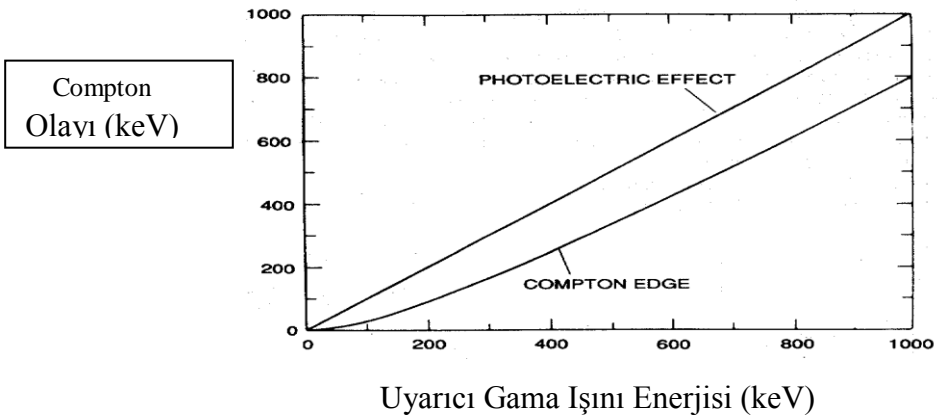
çıktı darbesi üretir. Bir detektördeki Compton saçılması, sıfırla Denklem 2.6' de verilmiş maksimum arasında bir çıktı darbeleri spektrumu üretir. Compton saçılması spektrumunu uyarıcı gama ışınının enerjisiyle ilişkilendirmek güçtür. Şekil 2.6' de tek enerjili bir gama ışını kaynağından (Cs-137) ölçümlenen gama ışını spektrumu gösterilmektedir. 662 keV'deki tam enerji piki, gama ışınının tüm enerjisini detektörde ya tekli bir fotoelektrik soğurma ya da bir dizi Compton saçılımı ve ardından gelen fotoelektrik soğurma aracılığıyla yitirdiği etkileşimlerle oluşturulur. Tam enerji pikinin altında gerçekleşen olayların spektrumu, gama ışınının detektörde enerjisinin sadece bir kısmını yitirdiği Compton saçılımlarıyla oluşturulur. 470 keV yakınındaki "basamak pik", tek bir Compton saçılımında 662 keV'luk bir gama ışınının bir elektrona aktarıldığı maksimum enerjiye karşılık gelir. Bu adıma Compton kenarı (edge) denir; Compton olayının enerjisi Denklem 2.6' de verilmekte ve Şekil 2.7' de çizilmektedir. Şekil 2.6' deki 188 keV'teki küçük pike geri saçılma piki denmektedir.

Gama ışını, detektörü çevreleyen malzemeye geniş açılı bir saçılma açısı ile ($\cong 180^\circ$) girdiği ve ardından detektör içinde soğurulduğu zaman geri saçılma piki oluşur. Geri saçılma pikinin enerjisi Denklem 2.5 ile verilmektedir ve bu maksimum 256 keV enerji olmaktadır. Geri saçılma piki enerjisi ve Compton kenar enerjisi toplamı uyarıcı gama ışınının enerjisine eşittir. Her iki özellik de uyarıcı gama ışınının geniş açılı Compton saçılmasının sonucudur. Olay, sadece saçılan gama ışını enerjisinin detektör içinde depoladığında, geri saçılma pikine katkıda bulunur; ve sadece saçılan elektron enerjisinin detektör içinde depoladığında Compton kenarına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Cs-137'nin tam enerjili foto-piki, Compton olayını ve 662 keV'luk gama ışınından gelen geri saçılma pikini gösteren yüksek çözünürlüklü spektrumu. Foto-pikin altındaki olaylar detektör ve çevreleyen madde içindeki Compton saçılmasından kaynaklanmaktadır.

Compton saçılması en az sıklıkta bağlı olan elektronlarla gerçekleştiğinden, çekirdeğin sadece çok küçük bir etkisi olur ve etkileşim olasılığı atom numarasından neredeyse bağımsızdır. Etkileşim olasılığı elektron yoğunluğuna bağlıdır, ve bütün malzemeler için neredeyse sabit olan, dolayısıyla Z/A ile orantılıdır. Compton saçılması olasılığı, gama ışını enerjisine bağlı olarak yavaşça çeşitlilik gösteren bir fonksiyondur (Şekil 2.1).

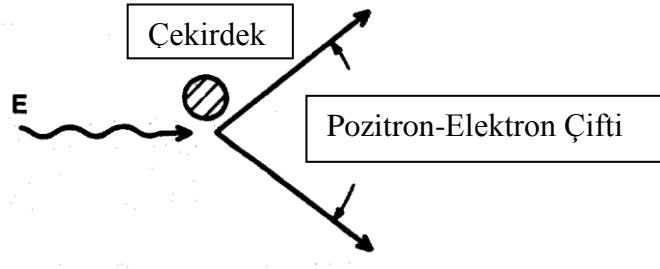


Şekil 2.7. Compton olayı enerjisi, uyarıcı gama ışını enerjisine karşı

2.1.3 Çift Oluşumu

En az 1.022 MeV'lik bir enerjiye sahip bir gama ışını, çekirdek yakınlarındaki güçlü elektromanyetik alanın etkisi altındayken bir elektron-pozitron çifti yaratabilir (Şekil 2.8). Bu etkileşimde çekirdek ivmeyi korumak için çok az miktarda geri çekilme enerjisi alır ancak çekirdek onun dışında herhangi bir değişikliğe uğramaz ve gama ışını yok olur. Klasik manyetik teoriye göre; ivmeli hareket yapan elektrik yüklü parçacık elektromanyetik enerji X-ışını yayar. Işıma yükün üzerinde geriye doğru bir kuvvet uygular (F_{rad}), ışının tepkisi kuvveti, alanlar tarafından yük üzerine uygulanan geri tepme kuvvetidir. Herhangi bir zamanda kaybedilen toplam gücü dikkate alırsak, Larmor formülü ($v < c$); P gücü, hızlandırılmış yüklü bir parçacıktan yayılan fotonun ivmesinin (a^2) karesiyle ve parçacık yükü (q) ile orantılıdır. $p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q^2}{c^3} a^2$; $P = F \cdot v$ eşitliklerinden Abraham Lorentz formülü elde edilir: $\vec{F} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q^2}{c^3} \vec{a}$ (Griffiths, 2005).

Bu etkileşim 1.022 MeV eşiğe sahiptir çünkü bu miktar, elektron ve pozitron üretmek için gereken minimum enerji miktarıdır. Eğer gama ışını enerjisi 1.022 MeV'yi aşarsa fazla enerji elektron ve pozitron arasında kinetik enerji olarak paylaşılır.



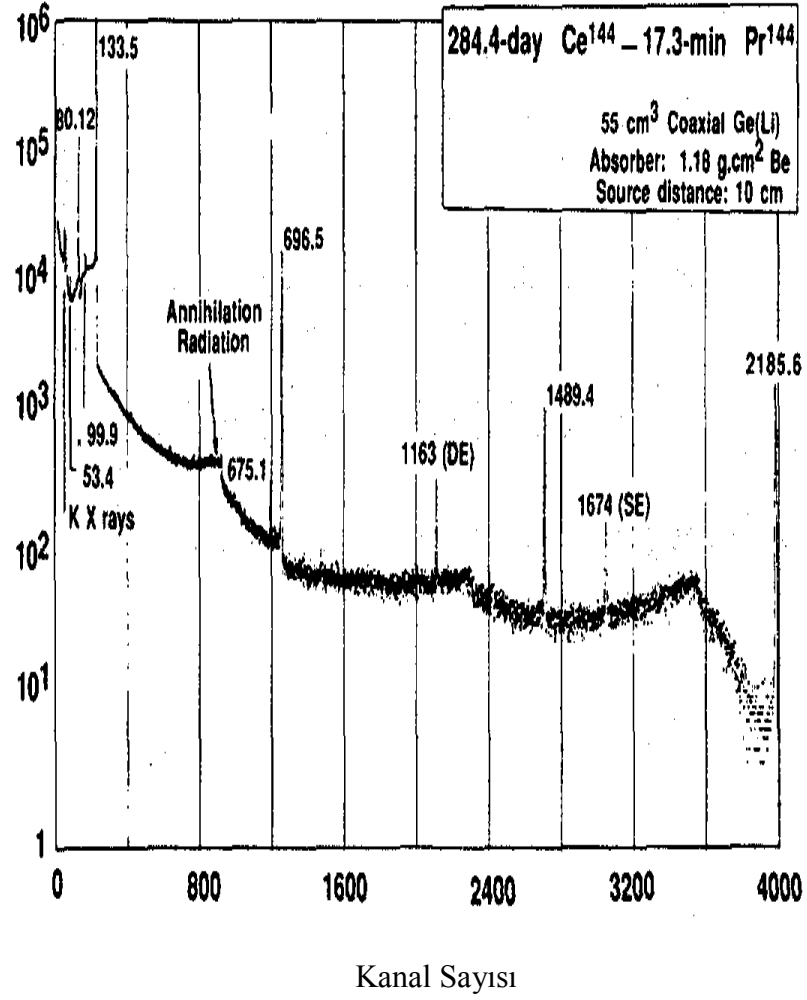
Şekil 2.8. Çift oluşumunun şematik bir gösterimi

Çift oluşumundan gelen elektron ve pozitron soğurucu içerisinde hızlı bir biçimde soğurulurlar. Kinetik enerjisini kaybetmesinin ardından pozitron bir yok oluş süreci içerisinde bir elektronla birleşir ve bu da her ikisi de 0.511 MeV enerjilere sahip olan iki gama ışını yayar. Bu düşük enerjili gama ışınları sonrasında, soğurucu maddeyle etkileşime

girebilir veya ortamdan kaçabilir. Bir gama ışını detektöründe bu etkileşim yüksek enerjili bir gama ışını için sıklıkla üç pik ortaya çıkartır (Şekil 2.9). Elektron ve pozitronun kinetik enerjisi detektörde soğurulur: anilasyon (yok oluş) gama ışınlarının birisi veya her ikisi de detektörden kaçabilir veya her ikisi de soğurulabilir. Eğer her iki anilasyon gama ışını da detektörde soğurulursa etkileşim ölçümlenen spektrumdaki tam enerji pikine katkıda bulunur; eğer anilasyon gama ışınlarından birisi detektörden kaçarsa etkileşim tam enerji pikinin 0.511 MeV altında konumlanmış olan tek-kaçış pikine katkıda bulunur; eğer her iki gama ışını da kaçarsa etkileşim tam enerji pikinin 1.022 MeV altında konumlanmış olan çift-kaçış pikine katkıda bulunur.

Üç pikin görelî yükseklikleri uyarıcı gama ışınına ve detektörün boyutlarına bağlıdır. Işınlanmış yakıt, toryum ve U-232 ölçümlendiğinde bu kaçış pikleri ortaya çıkabilir çünkü bu maddeler çift oluşumu eşliğinin üzerinde önemli gama ışınlarına sahiptirler. Bazen Pr-144 fisyon ürününden 2186-keV'lik gama ışını kullanılarak ışınlanmış yakıt ölçümlenir. Pr-144'nin Şekil 2.9' deki gama ışını spektrumu, bir germanyum detektöründeki 2186 keV gama ışınının çift oluşumu etkileşimlerinden dolayı ortaya çıkan tekli ve çiftli kaçış piklerini göstermektedir.

Sayılar / Kanal



Şekil 2.9. Bir germanyum detektöründeki 2186 keV gama ışınının çift oluşumu etkileşimlerinden dolayı ortaya çıkan tek kaçış (SE) ve çiftli kaçış (DE) piklerini (1674 ve 1163) gösteren ^{144}Pr fisyon ürünü gama ışını spektrumu

Çift oluşum 1.022 MeV'nin altında enerjiye sahip olan gama ışınları için mümkün değildir. Bu eşğin üzerinde etkileşim olasılığı enerjiyle beraber hızla artar (Şekil 2.1). Çift oluşumu olasılığı yaklaşık atom numarası Z 'nin karesi kadar çeşitlilik gösterir ve kurşun ve uranyum gibi yüksek Z 'li elementlerde oldukça önemlidir. Kurşunda 1.5 MeV'lik gama ışınlarının

etkileşimlerinin yaklaşık %20'si çift oluşumu sürecinden geçer ve oran 2.0 MeV'de %50'ye kadar artar. Bu etkileşim oranlarının karbondaki karşılıkları %2 ve %4'tür.

2.2 Üssel zayıflama

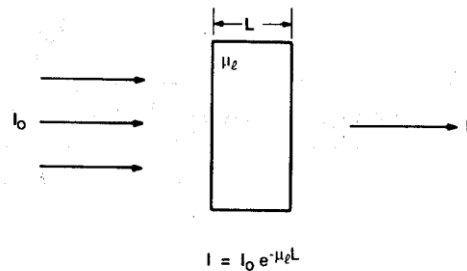
Gama ışınları ilk olarak 1900'de Becquerel ve Villarda tarafından uranyum ve radyumdan çıkan ve alfa ve beta partiküllerine kıyasla çok daha yüksek oranda nüfuz etme kapasitesine sahip bir radyasyon bileşeni olarak tanımlanmıştır. 1909'da Sody ve Russel gama-ışınının zayıflamasının üssel bir yasayı takip ettiğini ve zayıflama katsayısının absorblayıcı malzemenin yoğunluğuna oranının bütün maddeler için neredeyse sabit olduğunu bulmuştur.

2.2.1 Gama-Işını Zayıflamasının Temel Kanunu

Şekil 2.10'de basit bir zayıflama deneyi gösterilmektedir. Yoğunluğu I_0 olan gama ışınımı, kalınlığı L olan soğurucudan geçtikten sonra, yoğunluğu I , Denklem 2.7 deki gibi üssel ifadeyle verilmektedir. Burada μ zayıflatma katsayısı, L soğurucunun kalınlığıdır. μ zayıflatma katsayısı, belli foton enerjisinde, birim uzunluk başına, malzemenin foton ile etkileşme olasılığını verir, birimi (cm^{-1}) olarak ifade edilir (Kaplan, 1963).

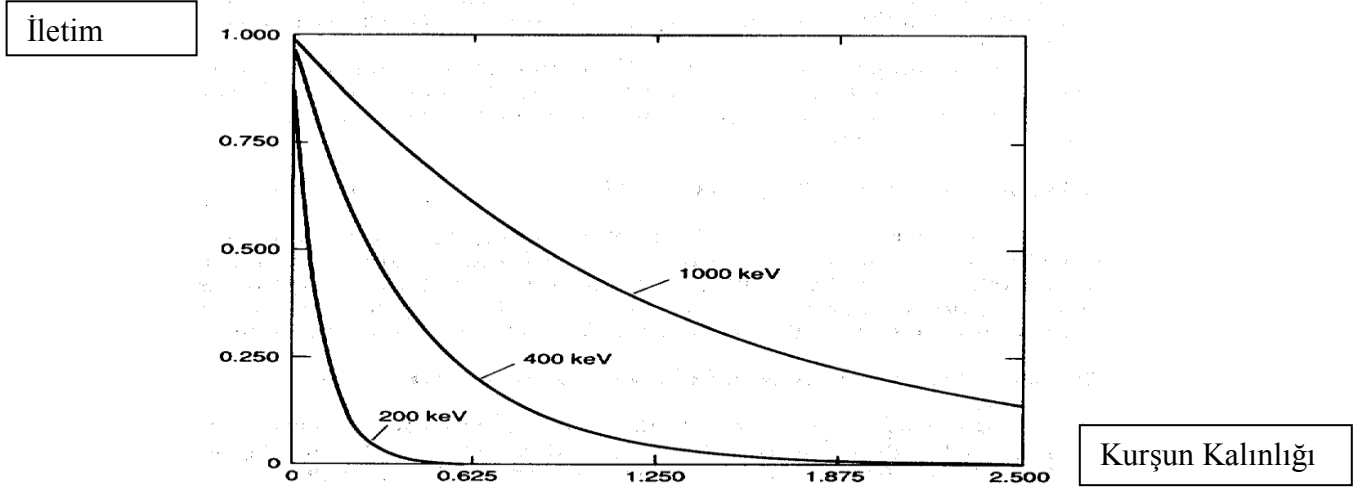
$$I = I_0 e^{-\mu L} \quad (2.7)$$

Şekil 2.10. Temel gama-ışını zayıflatma kanunu: zayıflayan gama-ışını yoğunluğu I , gama-ışını enerjisinin, soğurucu bileşenin ve soğurucunun bir fonksiyonudur.



Zayıflatma katsayısı foton enerjisine, soğurucunun kalınlığına ve atom numarasına (Z) bağlıdır (Tsoulfanidis, 1995).

Aşağıdaki Şekil (2.11) de kurşun için üç farklı gama enerjisinde kalınlık arttıkça geçiş hızının azaldığı görülmektedir.



Şekil 2.11. Kurşun soğurucu için gama geçişleri

Gama radyasyonu (ışınması) elektromanyetik radyasyondur ve elektrik yükü yoktur, bu yüzden ölçümü diğer radyasyonlardan- alfa ve beta farklıdır, örneğin manyetik spektrometreler kullanılamaz. Gama radyasyonunun zayıflamasının temel özelliği, homojen bir ışınımın üssel olarak azalmasıdır.

Deneyde, fotonlar soğrulma yoluyla ya da saçılma yoluyla ışın demetinden ayrılır. Soğurucu plakadaki bir atom ile etkileşme sonucu yeteri kadar saçılan bir foton, detektöre ulaşamaz, soğurulmuş ya da saptırılmış olarak demetten kaybolur, aslında absorbe olmuştur. Levhadan geçerken ışın demetinin şiddetindeki azalma, doğrudan soğurulma ve sapmanın birlikte etkilerinin bir ölçümüdür.

Deney sonucunda logaritmik ölçekte gama geçiş oranı, lineer skalada malzemenin kalınlığına karşı çizilir, sonuç denkleme uygun bir şekilde doğru olarak elde edilir.

Doğrunun eğimi μ (cm^{-1}) verir. Tekrarlanan deneyler sonucunda, zayıflatma katsayısının değerinin materyalin doğasına ve enerjinin değerine bağlı olduğu bulunmuştur.

μL çarpımının birimsiz olması nedeniyle μ nün birimi cm^{-1} olmalıdır ve lineer zayıflatma katsayısı; radyasyonun (fotonların) absorblayıcı içinde birim uzunlukta etkileşme olasılığı olarak tanımlanabilir.

2.2.2. Toplam Kütle Zayıflatma Katsayısı

Kütle zayıflatma katsayısı deneysel anlamda ölçüm yapmak adına en basit zayıflatıcı katsayısıdır ancak soğurucu maddenin yoğunluğuna olan bağımlılığından ötürü genellikle tabloluşturılmaz. Örneğin aynı maddeyle ilgili de olsa su, buz ve buharın belirli bir enerjideki lineer zayıflatma katsayıları tamamen farklıdır.

Gama ışınları ilk olarak atom elektronlarıyla etkileşime girerler; bu nedenle de zayıflatma katsayısı, soğurucu maddenin kütle yoğunluğuyla orantılı olan P elektron yoğunluğuyla orantılı olmak zorundadır. Öte yandan belirli bir madde için elektron yoğunluğunun kütle yoğunluğuna oranı, Z/A , kütle yoğunluğundan bağımsız olarak bir sabittir. Z/A oranı en ağır elementler ve hidrojen dışındaki bütün elementler için neredeyse sabittir.

P :elektron yoğunluğu

Z : atom numarası

ρ : kütle yoğunluğu

A : atomik kütle

$$P = Z \rho / A \quad (2.8)$$

Lineer zayıflatma katsayısının yoğunluğa oranına (μ/ρ) kütle sönümlenme katsayısı μ_m denir ve birim kütle başına alan boyutlarına sahiptir (cm^2/g). Bu katsayının birimi; soğurucunun birim kütlesi başına düşen elektronun etkin tesir kesit alanı olarak düşünülebileceğine işaret eder. N_0 'ın Avogadro sayısı (6.02×10^{23}) ve A'nın soğurucunun

atomik kütle numarası olduğu yerlerde kütle sönümlenme katsayısı reaksiyon tesir kesiti cinsinden yazılabilir, $\sigma(\text{cm}^2)$:

$$\mu = \frac{N_0}{A} \sigma \quad (2.9)$$

Tesir kesiti, gama ışınının tek bir atomla etkileşime girmesi olasılığıdır. Kütle sönümlenme katsayısı kullanılarak, üssel zayıflatma denklemini aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$I = I_0 e^{-\mu \rho L} = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.10)$$

$x = \rho L$ alınarak.

Kütle sönümlenme katsayısı yoğunluktan bağımsızdır; yukarıda belirtilmiş örneğe geri dönersek, su, buz ve buharın hepsi aynı μ değerine sahiptir. Bu katsayı lineer zayıflatma katsayısından daha fazla kullanışlıdır (Denklem 2.11). Çünkü gama ışınlarının tek (belirli) bir elementle etkileşime girme olasılığının niceliğini belirtir.

Dolayısıyla kütle zayıflatma katsayısı;

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.11)$$

olarak ifade edilmektedir (Knoll, 2000). Burada, ρ malzeme yoğunluğudur.

Yukarıda tartışılmış olan üç etkileşimin hepsi de toplam kütle zayıflatma katsayısına katkıda bulunur. Bu üç etkileşimin göreceli önemleri gama ışını enerjisi ve soğurucunun atom numarasına bağlıdır. Şekil 2.12' de geniş bir enerji ve atom numarası aralığını kapsayan bir kütle zayıflatma eğimleri bileşkesi gösterilmektedir. Bu üç sürecin karşılıklı etkileşimleri dramatik bir biçimde gösterilmektedir. Hidrojen dışındaki bütün elementler için, düşük gama enerjilerinde, foto-elektron etkileşiminin baskın etkileşim olduğu, -görülmektedir.

radasyonunun yoğunluğunu yarıya ve onda bire indiren kalınlıklardır, Denklem 2.7' den aşağıdaki şekilde elde edilir (Kaplan, 1963).

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad \text{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (2.12)$$

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

Gelişen teknoloji ile birlikte malzemelerin azalan madde boyutlarının yapısı ile ilgili bilgi sahibi olunabilmektedir. Bilim ve sanayinin hedefleri arasında malzemelerin özelliklerinin incelenmesi, araştırılması ve geliştirilmesi önemli yer tutmaktadır. İncelenecek malzemelerin boyutları küçüldükçe, malzemelerin özellikleri hakkında bilgi edebilmek amacıyla başvurulan yöntemlerin başında radyasyon gelmektedir. Bu sebeple radyasyon ile madde etkileşiminin incelenmesi bilim ve teknoloji açısından büyük önem arz etmektedir (Smith, 1996).

3.1 İncelenen Materyaller; alüminyum oksit, alüminyum titanat

Nükleer teknolojide önemli bir konu olan, radyasyondan korunmaya yönelik alüminyum bileşiklerinden, alüminyum oksit ve alüminyum titanat, gama transmisyon tekniği kullanılarak incelenmiştir.

Alüminyum, sanayinin farklı pek çok kolunda kullanılan malzemelerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni ekonomik anlamda dünyada etkin bir yere sahip olmasının yanında, hem hafif hem de yüksek fiziksel dayanıklılık özelliklerini birlikte bulundurduğundan tercih edilmektedir. Alüminyumdan türetilmiş olan bileşikler uzay ve

havacılık alanlarında kullanım önceliğine sahip olup nükleer sistemlerde de tercih edilmektedir.

Alüminyum alaşımlarından alüminyum oksit, alüminyum titanat, düşük yoğunluk ve maliyet gibi çeşitli avantajlı özelliklere sahiptir. Al_2O_3 ' ün bu iyi bilinen özelliklerinin dışında, aşağıdaki özellikleri de tercih edilme sebeplerinin başında gelir. İyi elektriksel yalıtım (1×10^{14} ila $1 \times 10^{15} \Omega \text{ cm}$), orta ila son derece yüksek mekanik mukavemet (300 ila 630 MPa), yüksek Basınç dayanımı (2.000 - 4000 MPa), yüksek sertlik (15 - 19 GPa), orta ısı iletkenliği (20 - 30 W / mK), yüksek korozyon ve aşınma direnci, iyi kayma özellikleri, 1.000 - 1.500 ° C çalışma sıcaklıkları mekanik olmaksızın yükleme, biyoinert doğa ve gıda uyumluluğu (<https://www.ceramtec.com/ceramic-materials/aluminum-oxide/> Tarih, 10.03.2018). $Al_2O_3.TiO_2$ ayrıca mükemmel bir termal şok direnci (0-1,000 ° C), çok düşük ısıl genişleme (20 ila 600 ° C arasında $<1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), yüksek ısı yalıtımı gibi birçok avantajlı özelliğe sahiptir. 1.5 W / mK), düşük Young modülü (17-20 GPa), iyi kimyasal direnç ve zayıf ıslanabilirlik (<https://www.ceramtec.com/ceramic-materials/aluminum-titanate/> Tarih, 10.03.2018).

3.2. Mikro ve Nano mertebe alüminyum oksit ve alüminyum titanat örneklerinin hazırlanması

Bu çalışmada alüminyum oksit ve alüminyum titanat örnekleri incelenmiştir. Örnekler toz halindedir ve boyutları mikrometre ve nano mertebesindedir. Elimizdeki dört farklı örneği toz ve disk halinde inceledik. Disk şeklindeki örnekler, Trakya Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TÜTAGEM) deneye hazırlanmıştır. Diskler vakumlanabilir paslanmaz çelik tablet kalıpları ve hidrolik soğuk pres kullanılarak hazırlanmıştır. Uygulanan basınç 40 MPa' dır ve yaklaşık beş dakika uygulanmıştır.

Mikrometre boyutlarındaki alüminyum oksit ve alüminyum titanat tozları uygulanan yöntemle disk haline getirilmiştir. Ancak nanometre mertebesindeki alüminyum oksit ve alüminyum titanat tozlarından, bağlayıcı bir çözelti kullanılmadan disk yapımı mümkün

olmamıştır. Bunun nedeni yüzey gerilim kuvvetinin artması olabilir, parçacık boyutları azalırken ortalama parçacık yüzey alanı artmaktadır.

Bağlayıcı olacağı düşünülen etil alkol doğal reçine çözeltisi, 50 mL etil alkole (%95 lik) 3 g doğal reçine katarak hazırlandı. 40 g lık nanometre mertebesindeki toz örneklerine 40 mL çözelti katılarak hazırlanan yeni örneklerin kuruması için 2 gün beklendi, bunun nedeni kuru olmayan örneklerin preslenirken taşmasıdır. İşlem oda sıcaklığında uygulanıp, yeniden 40 MPa basınç uygulanarak, nanometre mertebesindeki alüminyum oksit ve alüminyum tozlarından diskler elde edilmiştir. Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4.



Şekil 3.1. Al₂O₃ mikrometre



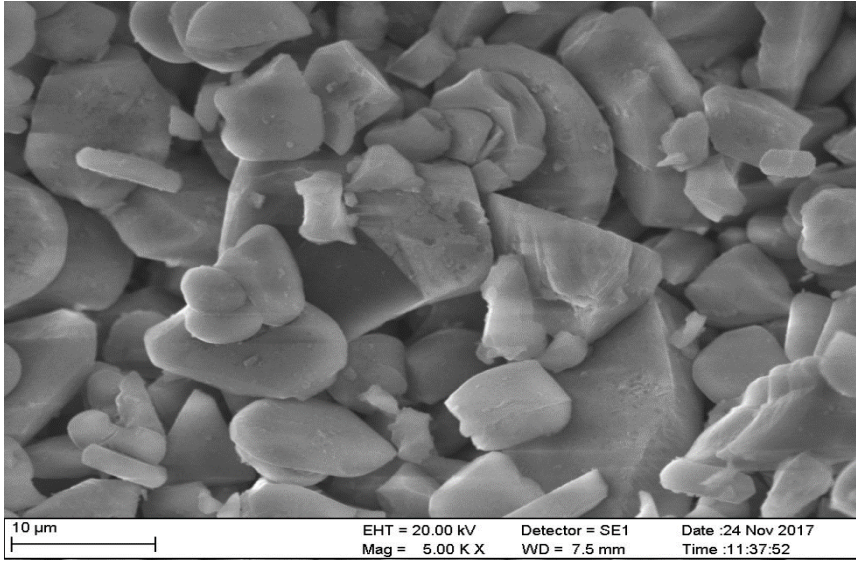
Şekil 3.2. Al₂O₃.TiO₃ mikrometre



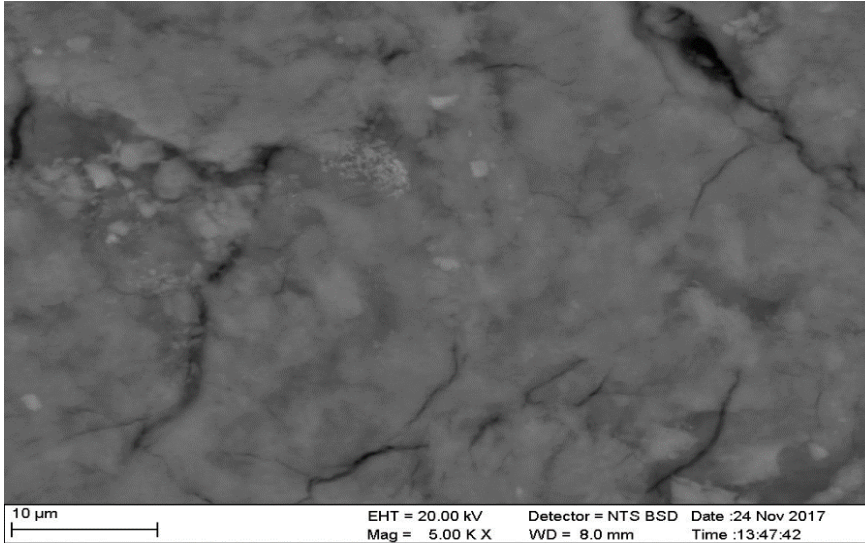
Şekil 3.3. Al_2O_3 nanometre



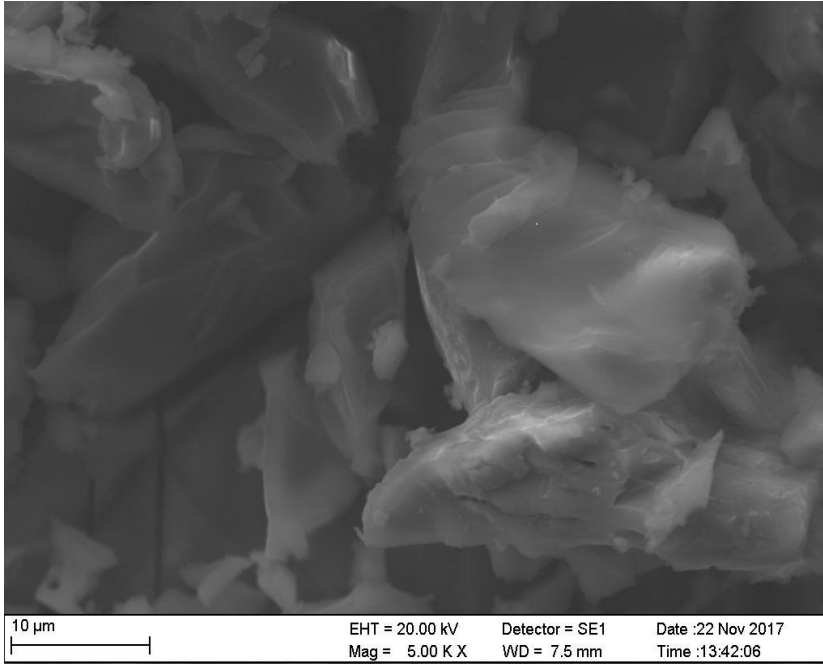
Şekil 3.4. Al_2O_3 . TiO_3 nanometre



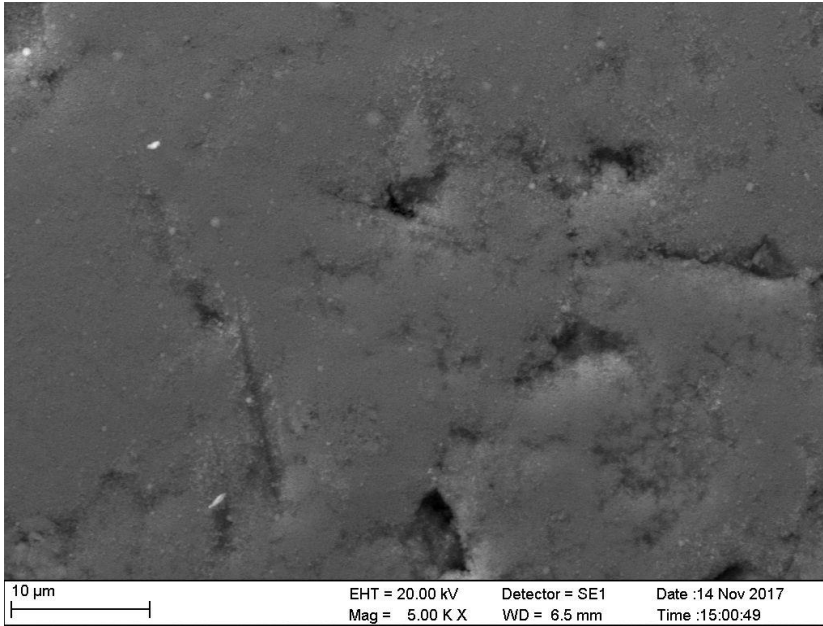
Şekil 3.5. Al_2O_3 mikrometre



Şekil 3.6. Al_2O_3 nanometre



Şekil 3.7. Al_2O_3 , TiO_3 mikrometre mm The SEM views of $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$,mm sample

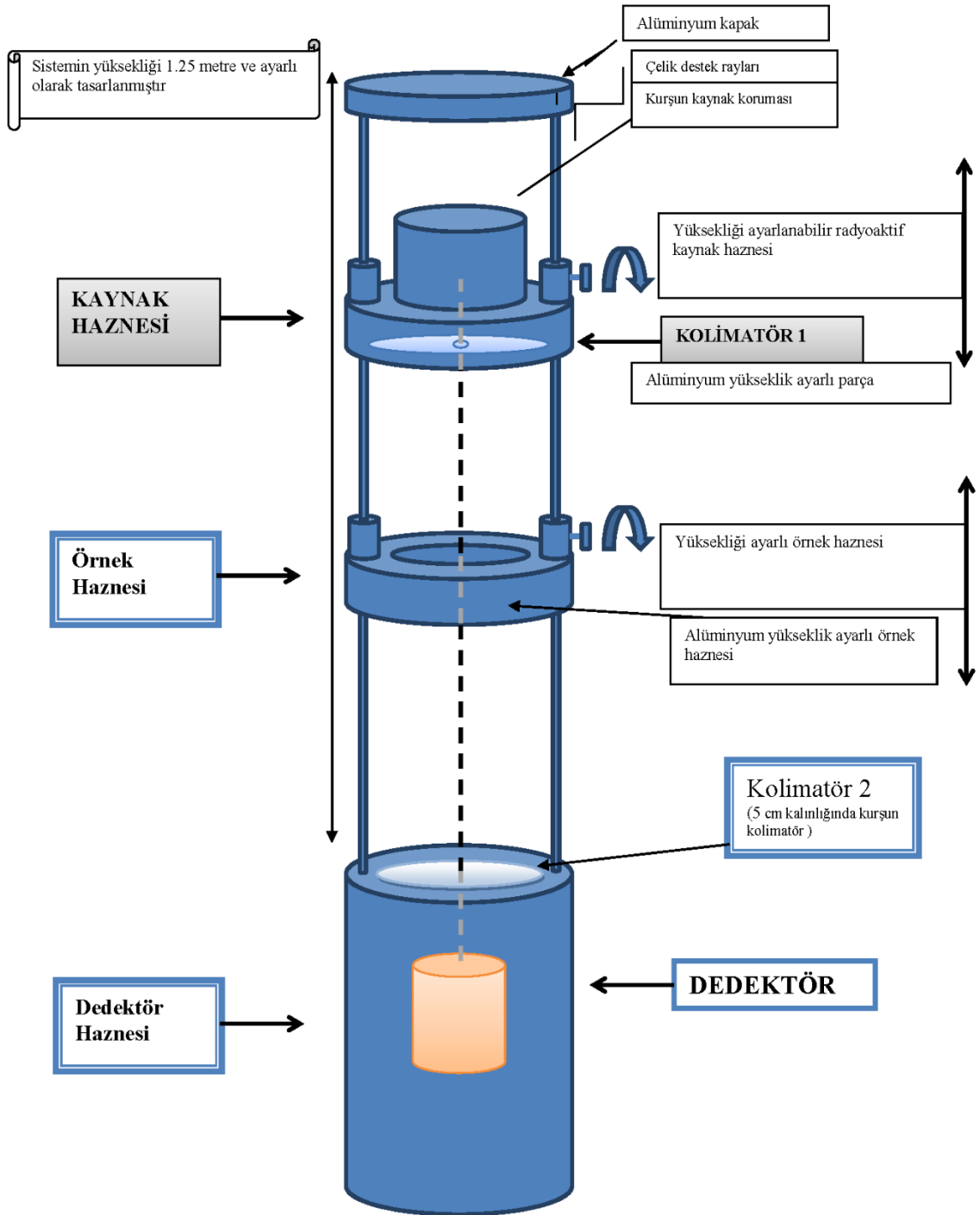


Şekil 3.8 . Al_2O_3 , TiO_3 nanometre mm The SEM views of $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$,nm sample

3.3. Deney Düzeneği ve Raylı Sistem

Deney düzeneğinde detektörden istenilen mesafelerde örnek ve kaynağın konulacağı raylı bir düzenek kullanılmıştır (Şekil 3.9). Raylı düzeneğin yüksekliği 1.25 m' dir. Düzenekte alüminyum kapak, çelik destek rayları, kurşun kaynak koruması, alüminyum ve yüksekliği ayarlanabilir örnek ve kaynak haznesi, detektör haznesi ve ışın miktarını belirleyen kolimatör bulunmaktadır.

İncelenen örneğin iki tarafına gama radyoizotop kaynağı ve detektör aynı ekseninde olacak biçimde konularak, kaynaktan çıkan ve incelenen örneği geçen radyasyon miktarı ölçülmek istenmektedir. İncelenen örneklerin farklı kalınlık değerleri kullanılarak elde edilen sayım değerleri (I), malzeme olmaksızın elde edilen sayım değerine (I_0) oranlanarak malzemenin her bir kalınlık değeri için gama geçiş hızı (I/I_0) bulunmuştur. Her bir ürün için kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek ürünlerin gama zayıflatma katsayısı, eğrilerinin eğiminden hesaplanmıştır. Örnekler için belirlenen gama zayıflatma eğrilerinden yararlanılarak malzemelerin Lineer zayıflatma katsayıları (μ), denklem (2.7)'de verilen Beer Lambert formülü yardımıyla hesaplanmaktadır.



Şekil 3.9. Raylı Düzenegın şematik gösterimi.

NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ve çok kanallı analizörü bir arada bulunduran kompakt sistem deneysel çalışmalarda gama radyasyonu ölçümü için kullanılmıştır.

Deneysel düzenek saçılma etkilerini en aza indirebilmek için özenle kurulmuştur. Dedektör kaynaktan istenilen mesafelere yerleştirilebilecek şekilde ayarlanmaktadır. Spektrum analiz hesabı, bilgisayar programı “ORTEC Spectrum” yardımı ile desteklenmektedir. Doğal etkileri minimuma indirebilmek için dedektör 3 mm’lik kurşun ile zırhlanmıştır. Dar demet geometrisi oluşturmak için kolimatör olarak 5 cm kalınlığında ve ortasında 12 mm çapında bir delik açılmış olan kurşun blok kullanılmıştır. Malzeme konulmadan başlangıç gama radyasyonu (I_0) ölçülmüştür. Her malzeme için farklı kalınlık değerlerinde numuneler kolimatör önüne yerleştirilerek, her kalınlık değeri için gama radyasyonu (I) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümlerde dedektör-numune mesafesi 4 cm ve numune kaynak arası 12cm alınmıştır. Her örneğin sayım süresi 1000s olarak tutulup, 3 kez tekrar edilip ve böylelikle ortalama sayım değerleri ve standart sapmalarına ulaşılmıştır. Her malzemenin farklı kalınlıkları için net sayım değerleri net başlangıç sayımına bölünerek bağıl sayım (I/I_0) değerleri bulunmuştur (Ek 1-24). Malzemelerin bağıl sayım-kalınlık grafikleri oluşturularak gama zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olup buradan hareketle malzemelerin birbirleri ile mukayese edilerek değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

3.4. Gama Kaynakları

Gama kaynakları ile yapılan deneysel çalışmalarda, endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan bu iki radyoizotop, nükleer uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda gama kaynağı olarak sıkça kullanılan radyasyon kaynaklarıdır. Cs-137, yarı ömrü 30,1 yıl olan uzun yarı ömürlü bir yapay radyasyon kaynağıdır ve 0,662 MeV enerjide tek bir foto-piki bulunmaktadır. Çalışılan Cs-137 radyoizotop kaynağın aktivitesi 1 μ Ci’dir.

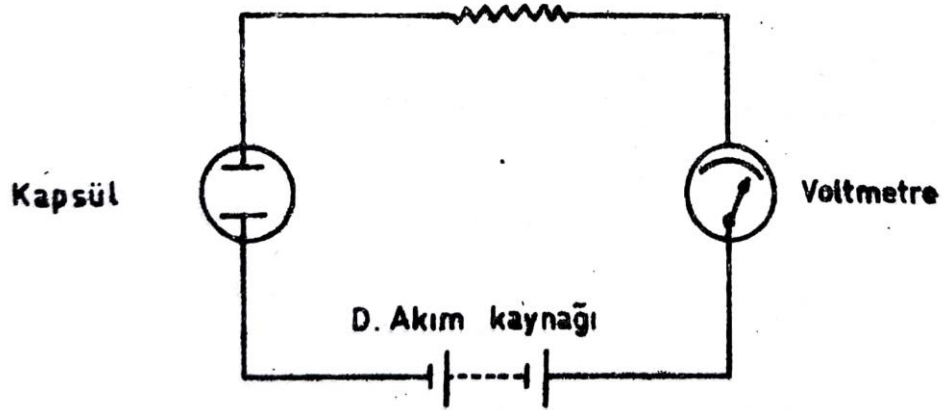
Yine çalışılan bir diğer gama radyoizotop kaynak olan Co-60 gama radyoizotop kaynağı ise 5.23 yıl yarı ömre sahiptir ve 1,17 ve 1,33 MeV enerjilerinde iki fotopike sahiptir, aktivitesi 1 μ Ci’dir.

3.5. Dedektör-radyasyon ölçüm sistemleri (Bilge, 1985)

Radyasyonu ölçmede kullanılan başlıca; metotlar iyon odaları, sintilasyon sayaçları, yarı iletkenler ve fotoğraf teknikleridir.

3.5.1. İyon odaları

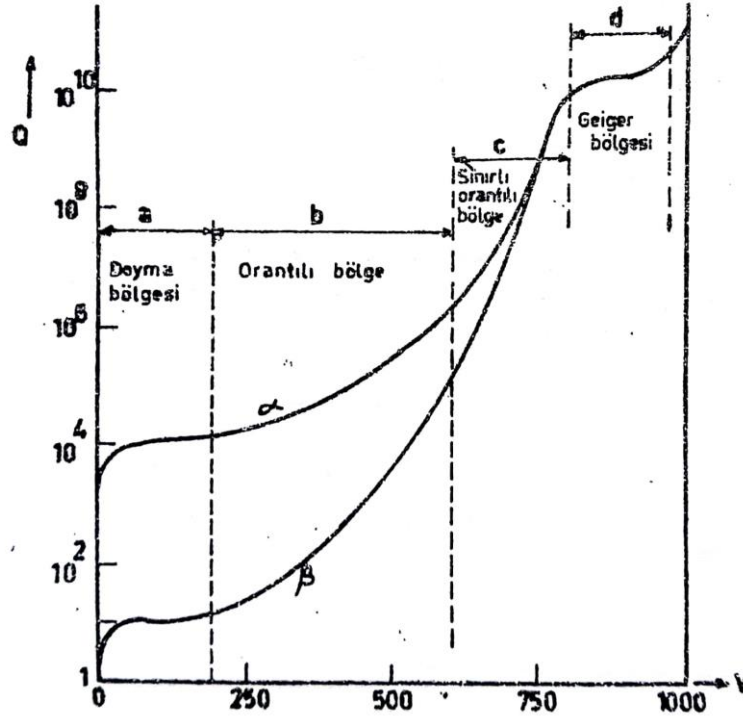
Prensip olarak bu tür tüpler Şekil 3.10. görüldüğü gibi iki elektrota sahip, gaz ile doldurulmuş olup doğru akım kaynağı ile beslenen tüpten meydana gelmiştir.



Şekil 3.10.

İyon Odalarının Çalışma Prensibi

Gazın içinde foton veya parçacıkların etkisi ile iyonizasyon meydana gelir. Pozitif iyonlar katoda ve elektronlar anoda doğru hareket ederler. Böylece elektrik akımı oluşur. Bu elektrik akımı elektrodların biçim ve boyutları ile gazın cinsi ve basıncıyla ve aynı zamanda uygulanan voltaj ile değişir. Bu durum Şekil 3.11. ile daha ayrıntılı incelenebilir. Burada tüpün elektrik yük değeri Q , uygulanan voltaja (V) göre çizilmiştir. Eğer voltaj ilk iyonizasyon meydana gelinceye kadar arttırılırsa, bu durumda bütün iyon ve elektronlar elektrodlar tarafından yakalanır. Belli miktarda doyuma ulaşılır ve anot ile katot arasındaki potansiyel farkının artması yükte herhangi bir çoğalmaya neden olmaz.



Şekil 3.11. Farklı Voltajlarda İyonizasyon Odalarının İşlemem Şartları

Eğer voltaj daha da arttırılırsa, serbest elektronlar daha hareketli olur ve enerjileri artar. Böylece daha fazla iyonizasyona neden olurlar. Bundan dolayı bir türlü kuvvetlenme söz konusudur. Pratikte beta parçacıkları için eğride plato yoktur. Çünkü beta parçacıkları sürekli spekturum verirler. Platonun tamamında ve eğrinin ikinci kısmında (Şekil 3.11' in, b ve c bölümleri)

İlk radyasyondan dolayı olan toplam yük, enerji ile orantılıdır ve bu nedenle bu tür iyonizasyon tüpüne orantılı sayaç denir. Voltajdaki (V) daha fazla artış tüpün Şekil 3.11' in d kısmında çalışmasını sağlar ve eğri yeniden düz duruma gelir. Bu bölgede kazanç hala fazladır. Elektrik sinyalinin yüksekliği birkaç volttan yüz volta kadar değişir ve bu da elektronik kuvvetlenmeyi kolaylaştırır. Kazançtaki bu artış elektrik akımının yüksek olmasından dolayı meydana gelen fazla miktardaki iyonizasyondan olmayıp fotonların

yayımlanmasıyla atom veya moleküllerin uyarılmalarındandır. Tüpün çeperlerindeki ikinci elektronların atılmasıyla da oluşabilen bu fotonlar yeni iyonizasyon meydana getirirler. Bu tür iyonizasyon odasının işlemesi geiger - müller tüplü sayaçlarla aynıdır. Bu şartlar altında sistem gelen ilk parçacıkların sayısı ile orantılı sinyaller üretir. Fakat bu sinyaller (Şekil 3.11. b, c bölgesinde olduğu gibi) enerji ile orantılı değildir. Geiger - müller sayaçları alfa-beta kozmik radyasyona karşı duyarlıdır. Ancak bu parçacıklar için % 100 olan verim fotonlar için % 2 yi geçmez (Mayer, 1962).

3.5.2. Geiger - Müller Sayaçları

Geiger - müller sayaçları genel olarak orantılı sayaçlardan (Şekil 3.11' deki d bölgesi) farklıdır. Geiger - müller sayaçları her türlü radyasyona karşı duyarlıdır. İyonizasyondan dolayı olan boşanım anot teli boyunca yayılır. Oluşan sabit yükseklikteki elektrik sinyali ve yüksek voltaj ve kuvvetlenme yapmayı kolaylaştırır.

3.5.3. Sintilasyon sayaçları

Bu sistemler iki kısımdan meydana gelir. Sintilatör adı verilen birinci kısımda luminans etkisi oluşturulur. Foto çoğaltıcı (phofotomultiplier) adı verilen kısımda da ışık sinyalleri yüksek elektrik sinyallerine dönüştürülür. Radyasyon enerjisinin bir kısmının radyoluminesan maddenin atom veya molekülleri tarafından soğularak uyarılmasıyla ışık ortaya çıkar. Bu ışık fosforesans veya floresans şeklinde oluşur. Yayımlanan ışığın foto çoğaltıcı katotunun duyarlılığına göre spektrum vardır.

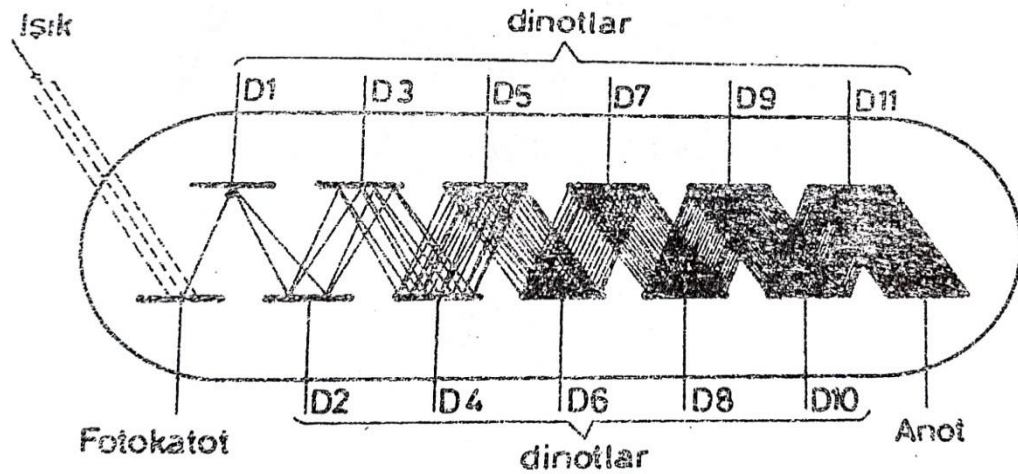
Sintilatörler organik veya inorganik olarak sınıflandırılır. İnorganik gruba girenlerde toz veya tek kristaller kullanılır. ZnS(Ag) toz kristallere örnek olarak verilebilir. Burada eser miktarda bulunan gümüş foto katotun duyarlılığına göre (4000-6000 Å) spektrum oluşmasını sağlar. Çok ince toz perspekt disk üzerine yerleştirilir ve üzeri 3-4 µm kalınlığında plastik örtü ile kaplanır.

Çok yaygın olarak kullanılan bir sintilatör de talyum ile aktive edilmiş sodyum iyodürdür. NaI (TI). Burada yayımlanan ışığın dalga boyu 3700-4500 Å arasında. Luminans etkisi çok iyidir. Çünkü bir MeV enerjiye sahip beta parçacığı 20000-30000 arası

foton üretir. Buna karşı cevap verme süresi ise 0.25 mikro saniyedir. Diğer taraftan kırılma indisi çok yüksektir. Bu da kristalin içinde yansımayı sağlar.

Organik sintilatörlerin cevap verme süresi çok daha kısadır (1×10^{-8} s). Organik sintilatörlerde genelde küçük atom numaralı oldukları halde boyutlarının büyük olması diğer bir avantaj olarak sayılabilir. Çözeltide, sıvı veya plastik içinde hazırlanabilirler. Yaygın olarak kullanılan türü antrasen ($C_{14}H_{10}$) kristali gösterilebilir.

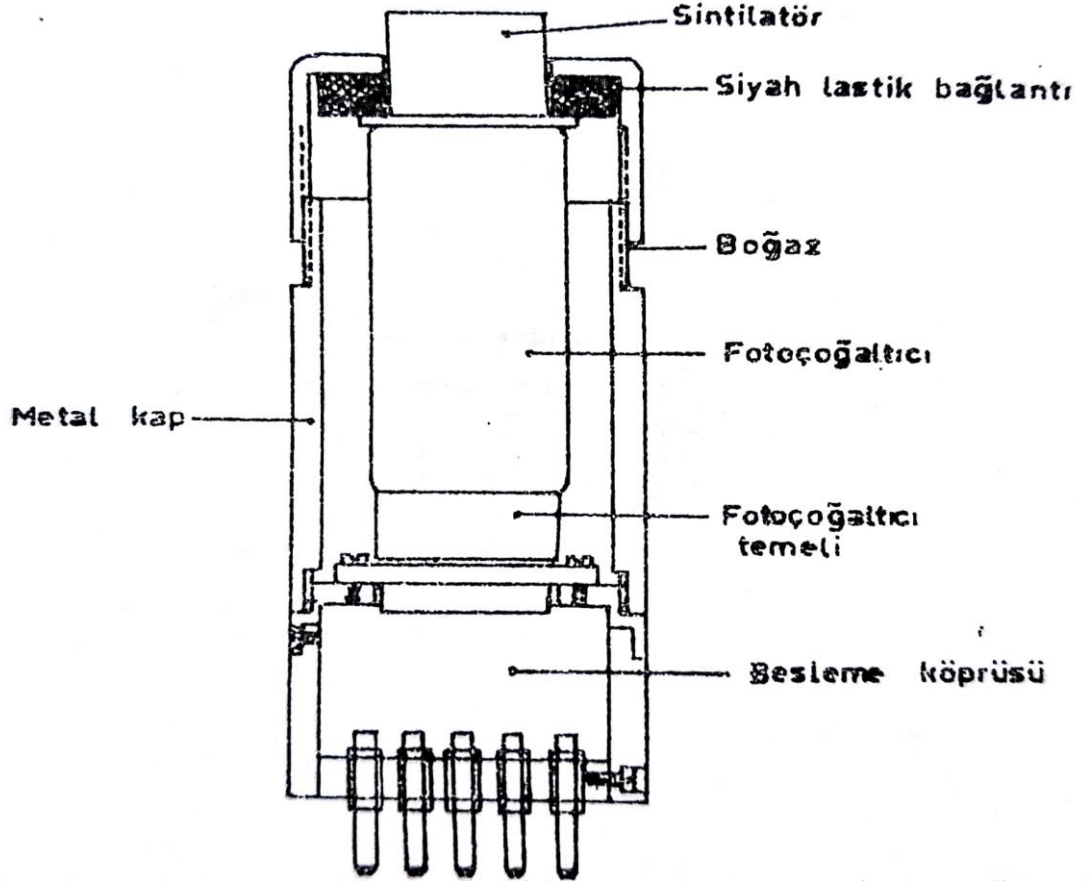
Foto çoğaltıcılar ise elektronik tüp olup ikinci yayımlama yükselticisi ile beraber çalışan fotosel içerir. Bu tür bir tüpün çalışma prensibi Şekil 3.12' de şematik olarak gösterilmiştir.



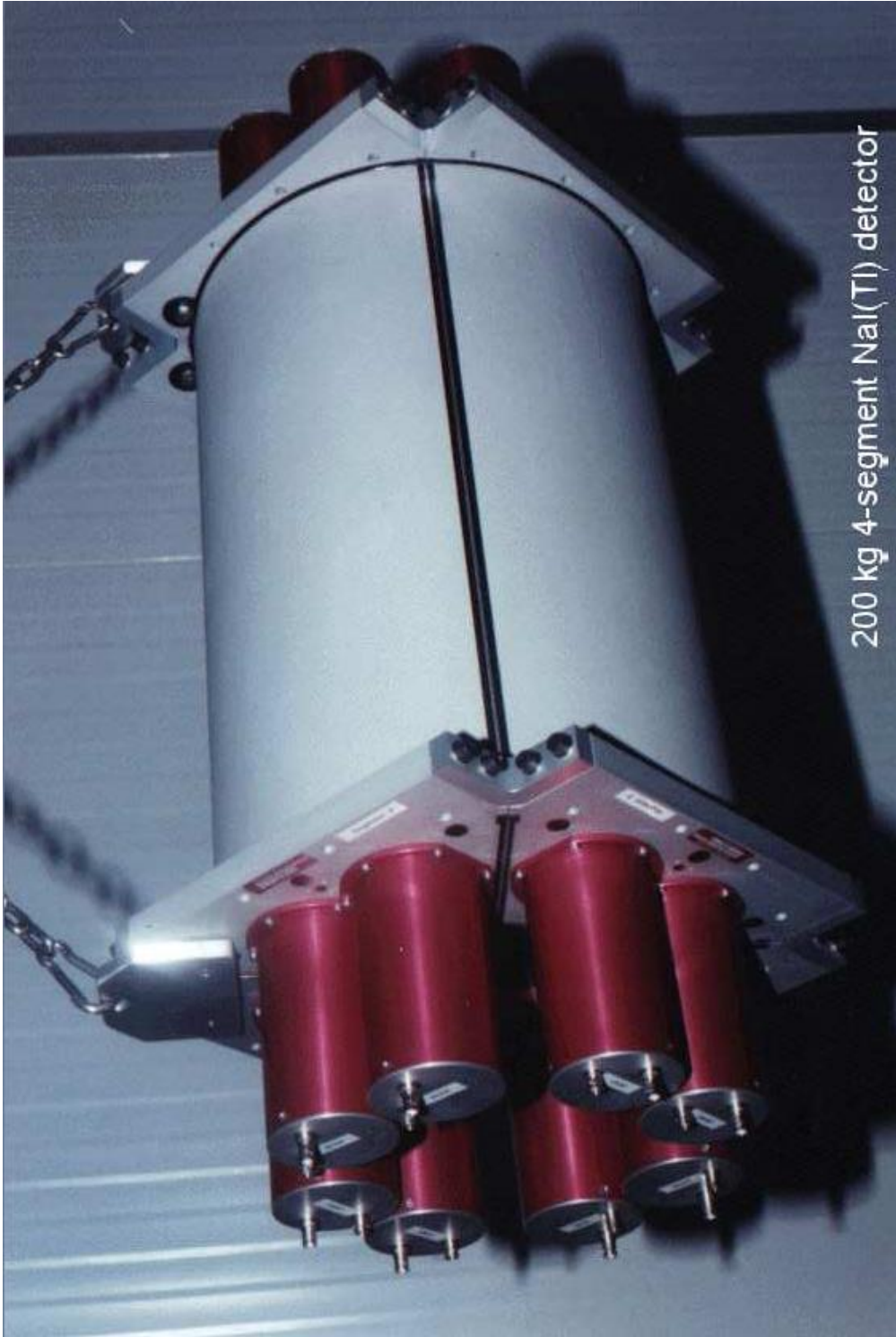
Şekil 3.12. Fotoçoğaltıcının Şematik Olarak İşleme Prensibi

Sintilatörlerden gelen ışık sinyali tüpün bir ucunda bulunan yarı şeffaf foto katoda uygun bir açı ile çarpar. Daha sonra elektrik alanının etkisiyle foto elektronlar dinot adı verilen elektroda doğru hareket ederler. Dinotlar Ag-Mg alaşımından yapılmış olup elektronla bombardıman edildiklerinde üç-dört misli daha fazla elektron üretirler ve bu olay her dinotta tekrarlanır. Son dinot yükseltilmiş akımı toplar. Dinotların geometrik düzenlenmesinde saçılan elektronların mümkün olan en az seviyede olmasına dikkat edilir

ve genelde 10-11 kademede toplam kazanç 1×10^6 olmaktadır. Cevap verme süresi 10^{-9} s. Bu düzeydeki çoğaltma özellikle verilen voltajdaki değişimlerden dolayı önemli karışıklıklara neden olabilir. Bunu önlemek için kazancın sabit tutulması gerekir. Diğer bir sorunda uyarılma sırasında karanlık akımın oluşmasıdır. Buna dinotların iç yüzeylerindeki prüzlerden dolayı artık gazların iyanizasyonu ve yörünge elektonları ile bombardıman edilen camdan sintilasyon ile serbest kalan elektonların çeşitli elektrotlarda meydana getirdiği ısıl uyarılma neden olur. Sintilasyon dedektörünün şematik kesidi ve fotoğrafı Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 de görülmektedir.



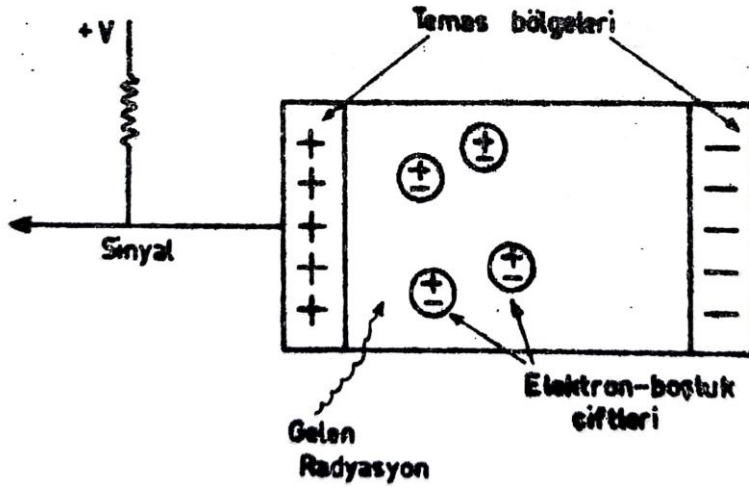
Şekil 3.13. Sintilasyon Dedektörünün Şematik Kesiti



Şekil 3.14. Sintilasyon Dedötör

3. 5. 4. Katı Hal Dedektörleri

Gerek X ve gerek gama ışınlarının, gerekse alfa gibi yüklü parçacıkların ölçümünde yarı iletken dedektörlerinin kullanımı 1960 yıllarda başlamıştır. Yarı iletken dedektörler katı hal iyanizasyon odaları olarak düşünülebilir. Katı hal dedektörlerinde de sintilasyon dedektörlerinde olduğu gibi gelen radyasyon kristal ile etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda kristal atomlarından koparılan yüksek enerjili elektronlar diğer elektronlarla etkileşerek, elektron-boşluk yani iyon çiftleri meydana getirirler ve 10^{-12} s gibi çok kısa süre içinde olay kararlı hale gelebilir. Biriken bu yük dışarıdan elektrik alanı ile kristal boyunca sürüklenir ve bir voltaj elektrik sinyali elde edilir., Şekil 3.15.



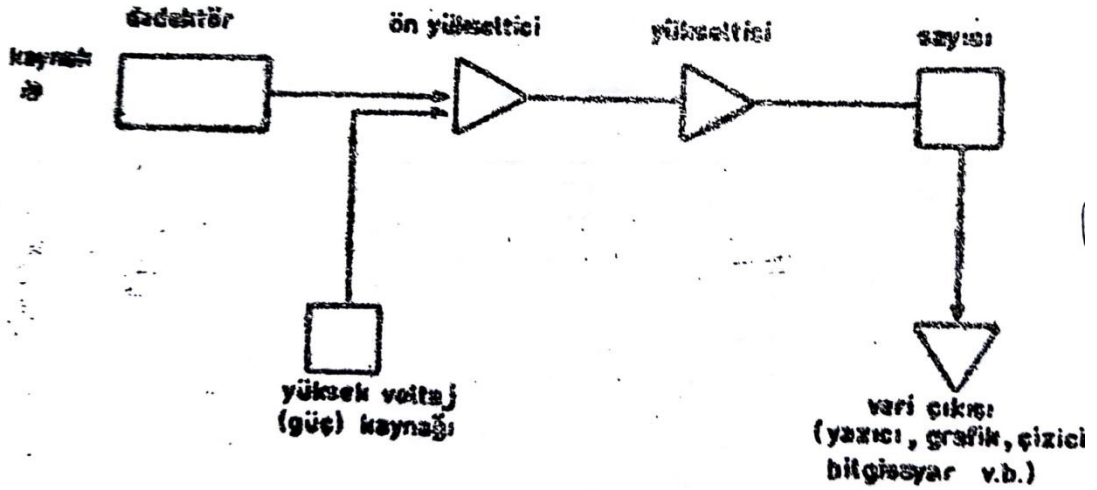
Şekil 3.15. Yarı-iletken Dedektörün Şematik Gösterimi

Kristal içinde meydana gelen ve temas yüzeylerinde toplanan yük miktarı radyasyon cinsinden bağımsız olarak yalnızca soğurulan enerji ile orantılıdır. Bir elektron-boşluk çifti meydana gelmesi için gerekli enerji yarı iletken dedektörlerde 3 eV, gaz iyonizasyon odalarında 30 eV ve sintilasyon dedektörlerinde 300 eV civarındadır. Katıhal dedektörlerinin yapımında en çok germanyum ve silisyum kullanılır. Belli bir radyasyonun ölçümü için dedektör seçimi o radyasyonla kristal malzemesinin arasındaki etkileşmeye

bağlıdır. Örneğin gama ışınlarının ölçülmesinde foto elektrik olayının daha belirgin olmasından yüksek atom numaralı germanyum kullanılır.

3.5.5. Nükleer Spektroskopi Sistemi

Elektromanyetik radyasyon veya yüklü parçacıklarla yapılan çalışmalarda kullanılan ölçme sistemlerinin dedektör cinsine bağlı olmaksızın genel blok şeması Şekil 3.16' de gösterilmiştir.



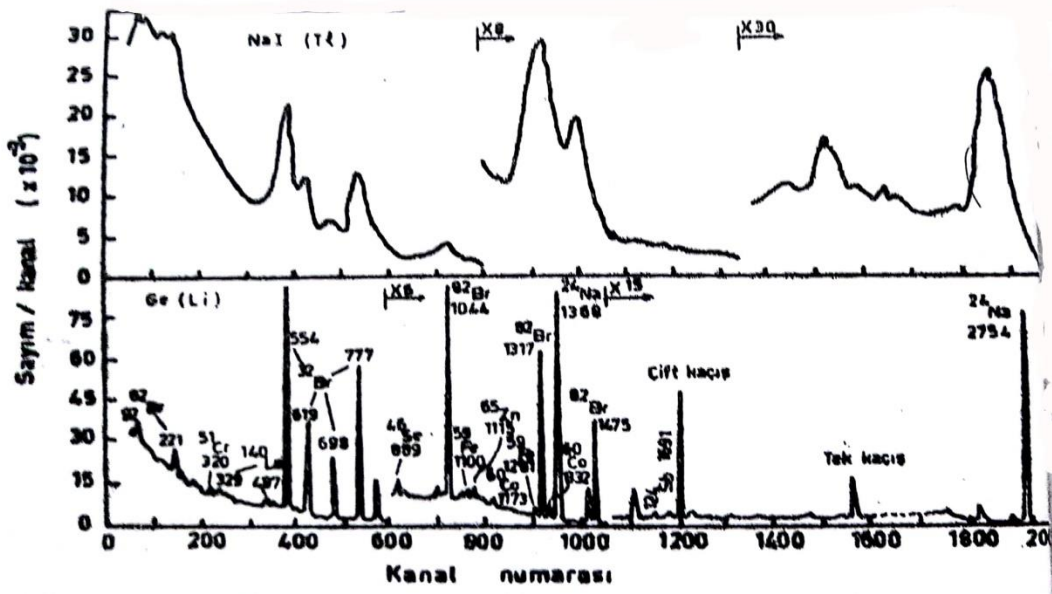
Şekil 3.16. Nükleer Spektroskopi Sistemi

Dedektör içinde meydana gelen voltaj sinyalleri ön yükseltici ve yükselticiden geçirilerek kuvvetlendirilir. Bu sinyaller elektronik bir düzenek (örneksel-sayısal dönüştürücü) yardımıyla, sinyal yüksekliği ile orantılı sayımlar haline dönüşerek analizörde spektrum olarak gözlenirler. Katıhal dedektörlerinin en büyük üstünlüğü enerji ayırma güçlerinin daha iyi olmasıdır, yani birbirine çok yakın enerjiler kolaylıkla ayırt edilebilirler. Şekil 3.17' de aynı bir örneğin NaI (Tl) ve Ge dedektörleri ile alınmış gama spektrumları

görülmektedir. Ayırma gücü belli bir radyasyon ve enerjiye göre ifade edilir. Katıhal dedektörlerinin ölçme verimi diğer detektörlere göre daha düşüktür.

Ge ve Ge(Li) dedektörleri için mutlak verim belli bir enerjide ölçülen gama ışını sayısı ile radyoaktif kaynağın yayınladığı gerçek gama ışını sayısı karşılaştırılarak bulunur. Aynı geometride sayım almak şartıyla Ge ve Ge(Li) dedektöründe elde edilen sayımların sintilasyon dedektöründe ölçülen sayımlara oranı da bağıl verim olarak tanımlanır. Verim değerleri de dedektörlerin büyüklüğüne, şekline ve sayım geometrisine göre değişir.

Yapılacak çalışmanın amacına yönelik olarak dedektör seçiminin yapılması gerekir. Örneğin tek bir radyoizotopla yapılabilen izleme çalışmalarında ayırma gücü düşük fakat verimi yüksek sintilasyon dedektörleri ile, bizim çalışmamızda ki gibi, çalışmak uygundur, bu tezin konusu böyle bir çalışmaya örnektir.



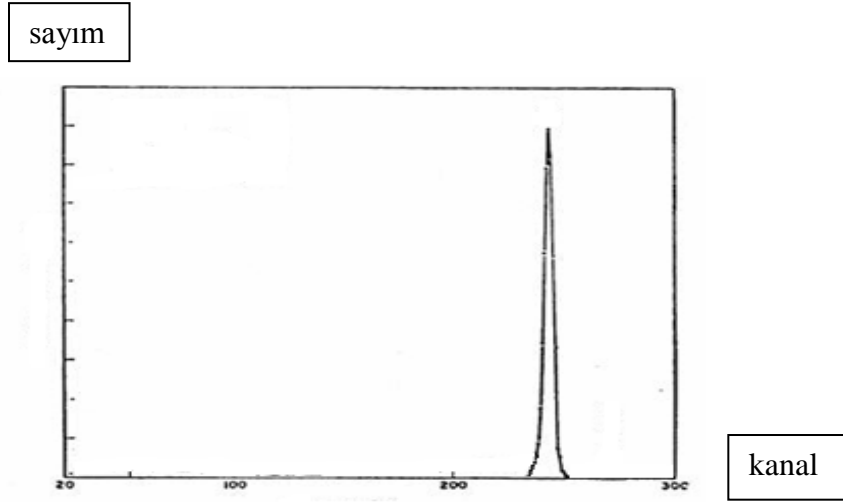
Şekil 3.17. Filtre Kağıdına Toplanmış NaI(Tl) ve Ge(saf) detektörleri ile alınmış spektumlar

3.5.6. Enerji Kalibrasyonu

Gama ışını spektrometresi, gama ışını yayan kaynakların çeşitli piklerde yoğunluklarının, nicel olarak hangi kaynaktan yayınladığını tespit eden analitik yöntemdir. Böylece tek bir ölçümde incelenen örneğin içindeki farklı radyoaktif çekirdeklerini aynı anda belirlemek mümkün olmaktadır.

Dedektörde fotonların enerjisini tam olarak belirleyebilmek için dedektörün sayım sisteminin enerji kalibrasyonunun yapılması gerekir. Enerji kalibrasyonu, sayım sistemindeki kanallarla, fotonun enerjisi arasında bir bağıntı elde etme işlemidir.

Böylelikle çok kanallı analizörde gelen sinyaller boylarına ve sayılarına göre ayrıştırılır, Şekil 3.18. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar bilgisayar yazılımı yardımıyla her bir kanala karşılık gelen sayım yoğunluğu olarak elde edilir.

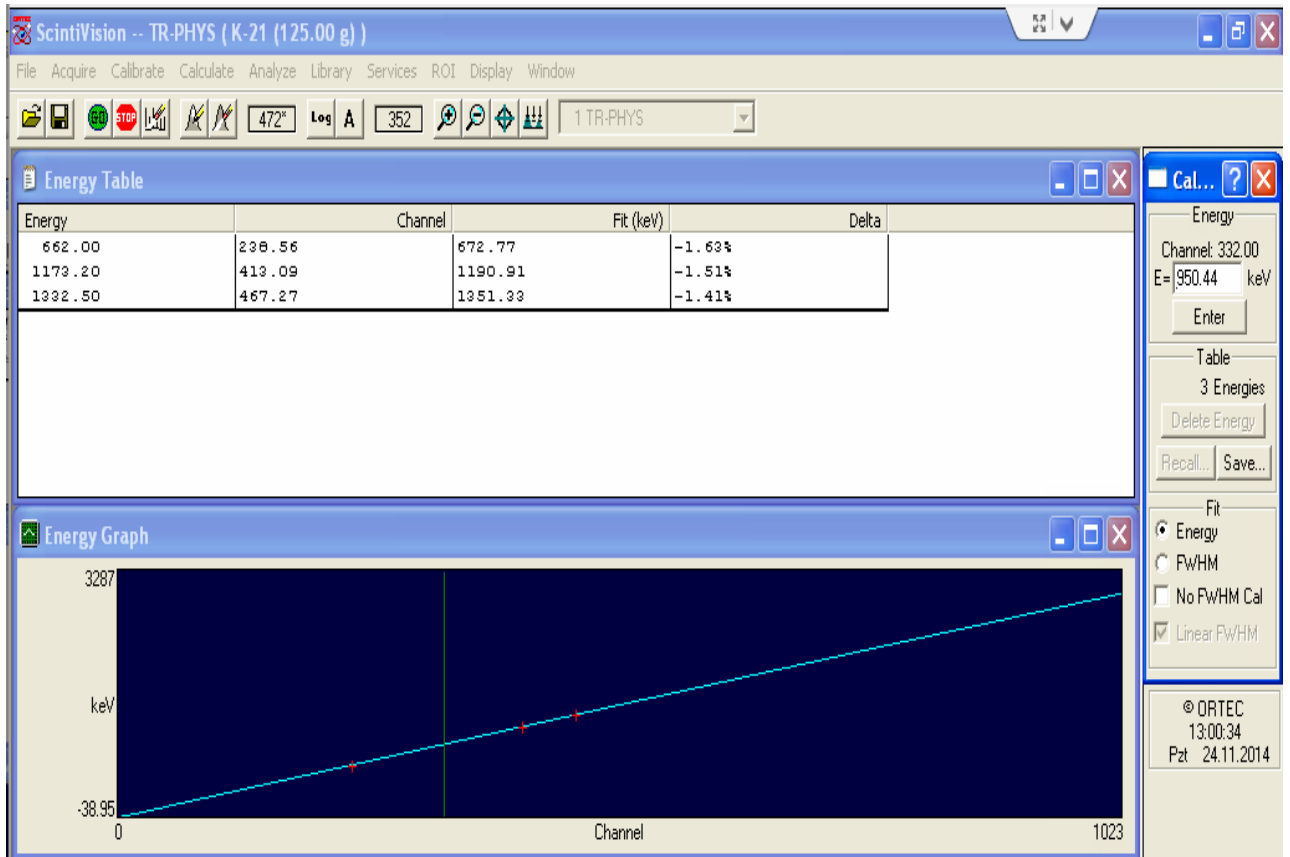


Şekil 3.18. Bir enerji değeri için kanala karşılık gelen sayım sayısı.

Böylelikle, kanallardaki enerji pikleri yardımı ile incelenen örnek içerisindeki radyoizotoplara ait enerji pikleri belirlenmiş olur, radyoizotop tayin edilir.

Sayım sistemi enerji kalibrasyonu, farklı enerjilere sahip en az üç gama kalibrasyonu kaynakları kullanılarak yapılır. Kalibrasyon işleminde kullanılan bu kaynakların spektrumda oluşturduğu piklerin tepe noktalarına, o enerjilerdeki piklerin hangi kanallarda olduğu işaretlenir. Bu şekilde tüm kanallar kalibre edilir. Bu piklerdeki enerji değerleri bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. Enerji kalibrasyonu eğrisi için, genellikle $Enerji=A+B*Kanal$, şeklinde doğrusal bir fonksiyon kullanmak uygundur.

Biz enerji kalibrasyonu için aktivitesi $1\mu Ci$ olan Co-60 ve Cs-137 nokta kaynaklarını kullandık. Bizim eğrimiz Şekil 3.19’ de görülmektedir.



Şekil 3.19. Enerji kalibrasyon eğrimiz

Elde edilen fonksiyon

$$E = a_1 + a_2 \cdot C$$

$$a_1 = -43.3$$

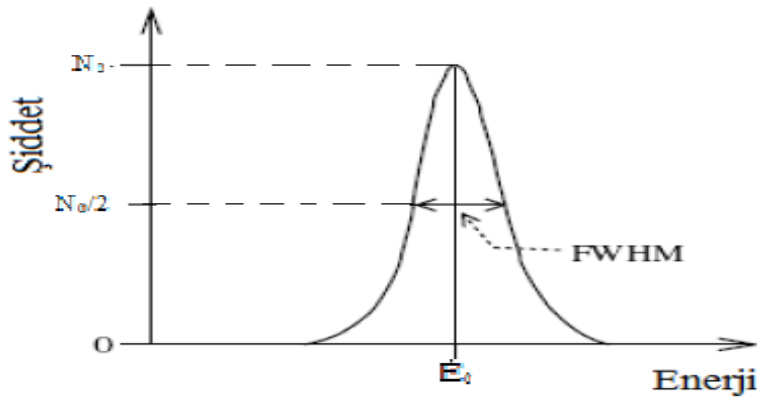
$$a_2 = 2.98$$

C kanal numarasıdır.

3.5.7. Yarı yükseklikte Maksimum Genişliği (Full With Half Maximum, FWHM)

Enerji kalibrasyonundan sonra, dedektöre ait diğer önemli bir özellik de, dedektörün ayırma gücü (rezolüsyon) “Yarı yükseklikte Maksimum Genişliği” (Full With Half Maximum, FWHM) dir. Dedektörün çözünürlüğü, birbirine yakın iki farklı enerjideki gama ışınlarının ayırt edilebilme ölçüsüdür. Piklerden gelecek hataları düzeltmek için gereklidir. Çözünürlük iyileştikçe yarı yükseklikte tam genişlik azalır.

Bu işleme pik şekli kalibrasyonu da denir. Dedektöre ait bu özelliğin belirlenmesi gerekir. Bunun için genel olarak, Co-57 kaynağı kullanılır ve 122,1 keV’deki pikin tepe noktasında 100000 sayım alınarak, pik üzerinde, pikin yarı yüksekliğindeki genişliği (FWHM) kanal ve/veya enerji olarak alınır. Şekil 3.20.



Şekil 3.20. Yarı maksimum genişliği

E_0 değerine karşılık gelen kanal değeri (centroid), inci kanaldaki (Ch_i), sayım sayısı C_i olmak üzere

$$\text{Centroid} = \frac{\sum_{i=N_1}^{N_2} C_i \cdot Ch_i}{\sum_{i=N_1}^{N_2} C_i} \quad (3.1)$$

şeklinde verilir.

Bizim FWHM değerimiz 661.67 keV'de, %1.04 hata ile 47.000978'dir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, nükleer teknolojide öne çıkan bir problem olan; radyasyonun zırhlanmasına yönelik olarak alüminyum oksit ve alüminyum titanat bileşikleri iki farklı boyutlarda olmak üzere toz ve disk halinde, gama transmisyon tekniği kullanılarak incelenmiştir. Her iki bileşiğin tek veya kompozit malzemelere katılarak incelendiğine literatürde rastlamak mümkündür. Ancak bileşiklerin mikrometre ve nanometre boyutlarındaki parçacıklarından, soğuk pres tekniği ile hazırlanması numuneleri diğer araştırmalardan ayıran özelliği olmuştur ve çalışmanın özgünlüğünü sağlamaktadır.

Her numune için üç farklı gama radyasyon enerjisi ile Bölüm 3' de anlatıldığı gibi alınan ölçümler çizelgeler halinde Ek 1-24'de verilmiştir. Çizelge değerlerinden hareketle numunelere ait bağıl sayım- kalınlık grafikleri Origin9 bilgisayar programı kullanılarak çizilmiştir. Eğrilerden elde edilen deneysel sonuçlar her numune için ve kullanılan farklı enerji değeri için hesaplanarak Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 ile verilmiştir.

Al_2O_3 bileşiğinin parçacık boyutları $<10 \mu m$ ve $<50 nm$, $Al_2O_3.TiO_2$ bileşiğinin ise $<15 \mu m$ ve $<25 nm$ dir. Toz halindeki numuneler çapı 2.8 cm, yüksekliği 3.0 cm olan plegsiglas kaplara 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ve 2.5 cm yüksekliklerde doldurulmuştur. Numuneler ile ölçü almadan önce boş numune kabı ile her üç gama enerjisinin yoğunluk ölçüleri alınmıştır. Deney geometrisi; kaynak ile numune arası 12 cm, numune ile detektör arası 4

cm olacak şekilde ayarlamıştır. Şekil 3.9' deki numune haznesine boş kap yerleştirilip, üç gama kaynağı için, 1000 saniye süresince üç kez ölçü alınarak ortalamalarından I_0 değerleri elde edilmiştir. Beş farklı kalınlıktaki numuneler için de aynı geometride 1000 saniye boyunca alınan üç sayım ve ortalamaları; I sayım değerlerinden, her numune için bağıl sayım sayıları elde edilmiştir. Bu değerler Ek.(1.12)'de görülmektedir. Origin9 bilgisayar programı ile çizilen zayıflatma eğrileri de Ek.(1.12)' de yer almaktadır. Zayıflatma eğrilerinden elde edilen lineer zayıflatma katsayıları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Beklendiği gibi, her üç gama enerjisine karşı, toz örneklerinin bağıl sayım-kalınlık eğrilerinden, kalınlık ile bağıl sayımın azaldığı görülmektedir. Ancak zayıflatma eğrilerinin R^2 değerleri 0.58 ve 0.60 değerleri dışında 0.73 ile 0.98 arasında değişmektedir ve bu değerler küçümsenmeyecek büyüklüktedir. Sayımlardaki sapma miktarının büyüklüğü toz örneklerinin homojen bir yapıda olmaması ile açıklanabilir. Yine zayıflatma eğrilerinden, üç farklı gama enerjisi için elde edilen, lineer zayıflatma katsayıları $0.00948-0.08067 \text{ cm}^{-1}$ arasında değişmektedir. Bu değerler ile, incelenen malzemelerin, nükleer teknolojideki zırlama problemi açısından aranılan özelliğe sahip olduğu söylenemez. Numunelerin lineer zayıflatma katsayılarından elde edilen kütle zayıflatma katsayıları da $0.0426-0.36622 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ arasında değişmektedir. Malzemelerin parçacık boyutları dikkate alınarak, radyasyonu zayıflatma özelliklerini karşılaştırmak istersek, Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2' de dayanarak, bir sonuca varmak mümkün değildir.

İncelenen toz halindeki Al_2O_3 bileşiğinin, mikrometre ve nanometre parçacık boyutlarındaki örneklerinden soğuk pres ile hazırlanan, Al_2O_3 mikrometre ve Al_2O_3 nanometre olmak üzere iki tip numune elde edilmiştir. Aynı şekilde elde edilen $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ mikrometre ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ nanometre numuneleriyle birlikte, disk halinde 4 çeşit numune gama radyasyonunu zayıflatma özelliği açısından incelenmiştir. Elimizdeki disk şeklindeki Al_2O_3 (mikrometre), Al_2O_3 (nanometre) ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ (mikrometre), $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ (nanometre), örnekleri $\text{Al}_2\text{O}_3(\mu\text{m})$, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{nm})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}(\mu\text{m})$, $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}(\text{nm})$ şeklinde sırayla kodlanmıştır.

Hazırlanan diskler farklı kalınlıklardadır, kalınlıklar 0.492cm den 0.046cm ye kadar değişmektedir, yarıçapı 1.5cm dir.

Disk şeklindeki örneklerin bağıl sayım-kalınlık eğrileri beklendiği gibi değişmekte; kalınlıkla, malzemenin radyasyon zırlama özelliği artmaktadır. Söz konusu eğrilerin R^2 değerleri 0.86-0.98 arasında değişmektedir (Ek.13-24).

$Al_2O_3(\mu m)$, $Al_2O_3(nm)$ ve $Al_2O_3.TiO(\mu m)$, $Al_2O_3.TiO(nm)$ numunelerinin bağıl sayım-kalınlık eğrilerinden elde edilen lineer zayıflatma katsayıları, Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

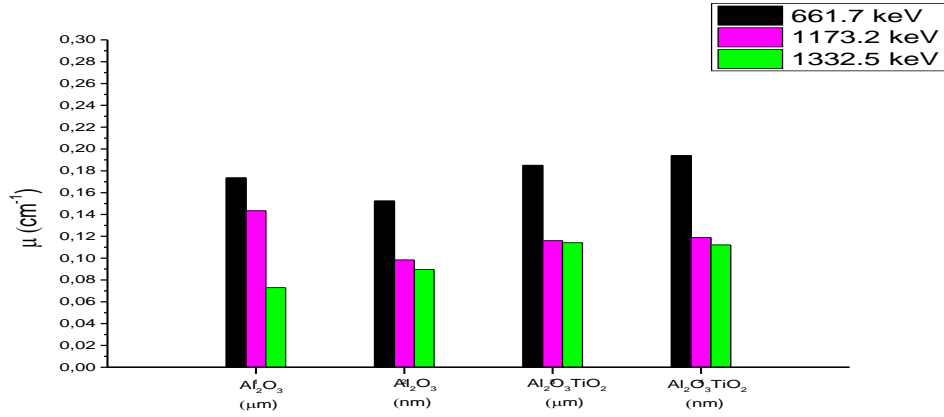
Disk şeklindeki numunelerin hesaplanan lineer zayıflatma katsayılarının da, enerji arttıkça azaldığı Şekil 4.1’ den görülmektedir.

Çizelge 4.1. Al_2O_3 (μm), Al_2O_3 (nm) (disk ve toz) örneklerinin farklı enerjilerde ve geometrilere ölçülen toplam doğrusal ve kütle zayıflatma katsayıları ve teorik değerleri

$\text{Al}_2\text{O}_3(\mu\text{m})$					
Enerji (keV) ve Aktivite (μCi)	μ (cm^{-1}) Disk	μ (cm^{-1}) Toz	μ_m ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$) Disk	μ_m ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$) Toz	μ_m (XCOM)
Cs-137 661.7 keV	0.17355±0.00946	0.07677±0.0041	0.07791	0.066	0.07593
Co-60 1173.2 keV	0.14341±0.01053	0.05687±0.01041	0.06438	0.0492	0.05774
Co-60 1332.5 keV	0.07292±0.00587	0.04925±0.00603	0.03274	0.0426	0.05412
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{nm})$					
Enerji (keV) ve Aktivite (μCi)	μ (cm^{-1}) Disk	μ (cm^{-1}) Toz	μ_m ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$) Disk	μ_m ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$) Toz	μ_m (XCOM)
Cs-137 661.7	0.15234±0.02392	0.03709±0.00225	0.09123	0.19463	0.07593
Co-60 1173.2	0.09835±0.00616	0.06979±0.00318	0.05892	0.36622	0.05774
Co-60 1332.5	0.08923±0.00587	0.00948±0.01256	0.05364	0.04975	0.05412

Çizelge 4.2. Al₂O₃.TiO₂ (µm), Al₂O₃.TiO₂ (nm) (disk ve toz) örneklerinin farklı enerjilerde ve geometrilerde ölçülen toplam doğrusal ve kütle zayıflatma katsayıları ve teorik değerleri

Al ₂ O ₃ .TiO ₂ (µm)					
Enerji (keV) ve Aktivite (µCi)	µ (cm ⁻¹) Disk	µ (cm ⁻¹) Toz	µ _m ($\frac{cm^2}{g}$) Disk	µ _m ($\frac{cm^2}{g}$) Toz	µ _m (XCOM)
Cs-137	0.18513±0.00862	0.07631±0.00531	0.08235	0.04875	0.07513
Co-60 1173.2 keV	0.11596±0.00891	0.06979±0.01256	0.05158	0.04459	0.05704
Co-60 1332.5 keV	0.11411±0.00369	0.08067±0.00545	0.050759	0.05154	0.05347
Al ₂ O ₃ .TiO ₂ (nm)					
Enerji(keV) ve Aktivite (µCi)	µ (cm ⁻¹) Disk	µ (cm ⁻¹) Toz	$\frac{\mu}{\rho}$ ($\frac{cm^2}{g}$) Disk	µ _m ($\frac{cm^2}{g}$) Toz	µ _m (XCOM)
Cs-137 661.7	0.19398±0.00762	0.04044±0.00182	0.071127	0.26588	0.07513
Co-60 1173.5	0.11881±0.00727	0.05502±0.01188	0.04356	0.36174	0.05704
Co-60 1332.5	0.1121±0.0115	0.01999±0.00272	0.0411	0.13143	0.05347



Şekil 4.1. Lineer zayıflatma katsayısının gama enerjisine göre değişimi

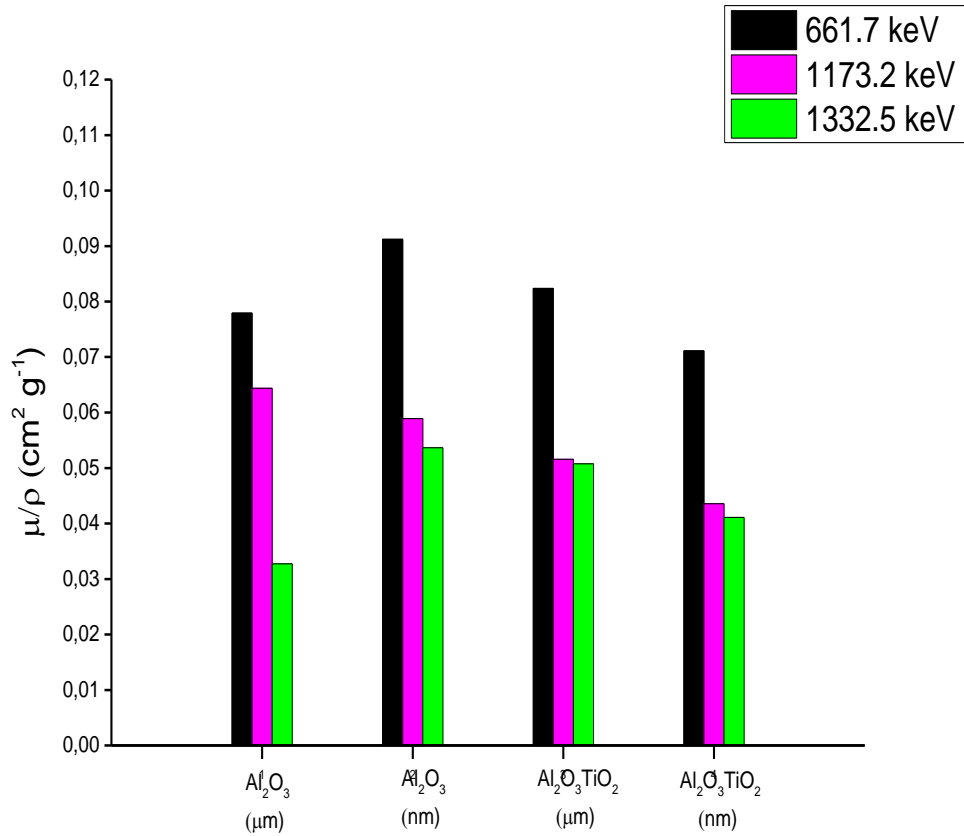
Çizelge 4.1., Çizelge 4.2. ve Şekil 4.1 de görüldüğü gibi 661.7 keV ve 1332.5 keV gama enerjileri için, lineer zayıflatma katsayısı en yüksek malzeme Al₂O₃.TiO₂(μm), Al₂O₃.TiO₂(nm) dir. Bu sonuç foton malzeme etkileşme olasılığının, E_γ enerjisine ve malzemenin atom numarasına (Z) bağlılığı ile açıklanabilir. Kullandığımız gama enerji aralığında fotoelektrik etki ve Compton saçılması baskındır ve söz konusu etkileşmeler uygulanan enerji ile azalmakta, ancak özellikle fotoelektrik etki Z ile artmaktadır (Tsoulfanidis, 1995). 1173.2 keV gama enerjisine ait lineer zayıflatma katsayısı, Al₂O₃(μm) numunesinde yüksektir. Bu farklı durum malzemenin hazırlanma koşullarından kaynaklanabilir. Numunelerin kumpas ve hassas terazi kullanılarak bulunan yoğunlukları Çizelge 4.3. verilmektedir.

Çizelge 4.3. Al₂O₃(μm), Al₂O₃(nm), Al₂O₃.TiO₂(μm) ve Al₂O₃.TiO₂(nm) yoğunlukları.

Numuneler	Al ₂ O ₃ (μm) (g cm ⁻³)	Al ₂ O ₃ (nm) (g cm ⁻³)	Al ₂ O ₃ .TiO ₂ (μm) (g cm ⁻³)	Al ₂ O ₃ .TiO ₂ (nm) (g cm ⁻³)
Yoğunluk	2.22758	1.6692	2.24806	2.72723

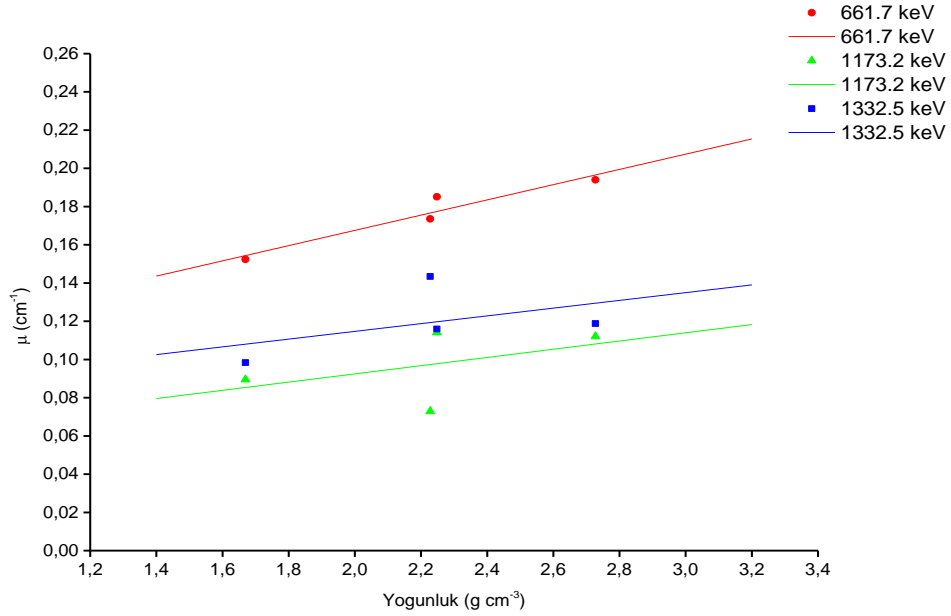
Numunelerin lineer zayıflatma katsayılarından, Denk 2.11. kullanılarak elde edilen kütle zayıflatma katsayıları Çizelge 4.1., Çizelge 4.2. ve Şekil 4.2. de verilmektedir. Diğer taraftan literatürde yaygın olarak kullanılan, malzemelerin yapısına göre, seçilen enerji seviyesindeki teorik kütle zayıflatma katsayısını hesaplayabilen XCOM bilgisayar programı yardımı ile incelenen malzemelerin teorik kütle zayıflatma katsayıları elde edilmiştir (Berger vd., 2008), (<http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm> 2017).

Deneysel sonuçlar ve teorik (XCOM) olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları ile karşılaştırıldığında 12 numuneden 8 i için %8-%10 luk fark gözlenirken, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{nm})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ numuneleri için %20, $\text{Al}_2\text{O}_3(\mu\text{m})$ %30'un üzerinde fark görülmektedir. Bu aykırı sonuçlar yine malzemenin hazırlanma koşullarındaki yetersizlik ile açıklanabilir.



Şekil 4.2. $\text{Al}_2\text{O}_3(\mu\text{m})$, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{nm})$, $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\mu\text{m})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ örnekleri için 661.7keV, 1173.2 keV ve 1332.5 keV ölçülen μ değerleri.

Malzemenin lineer zayıflatma katsayısının, yoğunluğa bağımlılığından dolayı, incelenen numunelerin lineer zayıflatma katsayılarının, yoğunlukla artması beklenmektedir (Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2010)). Şekil 4.3' de bu artış gözlenmektedir.

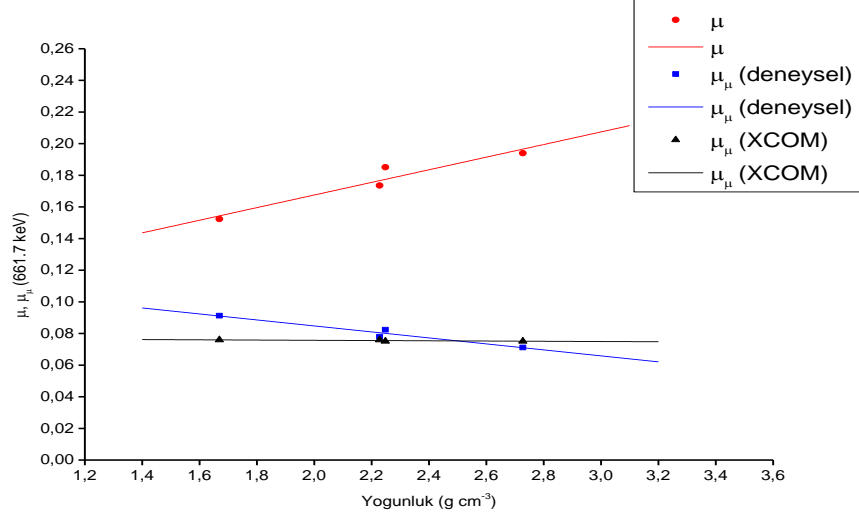


Şekil 4.3. Yoğunlukla lineer zayıflatma katsayısının değişimi

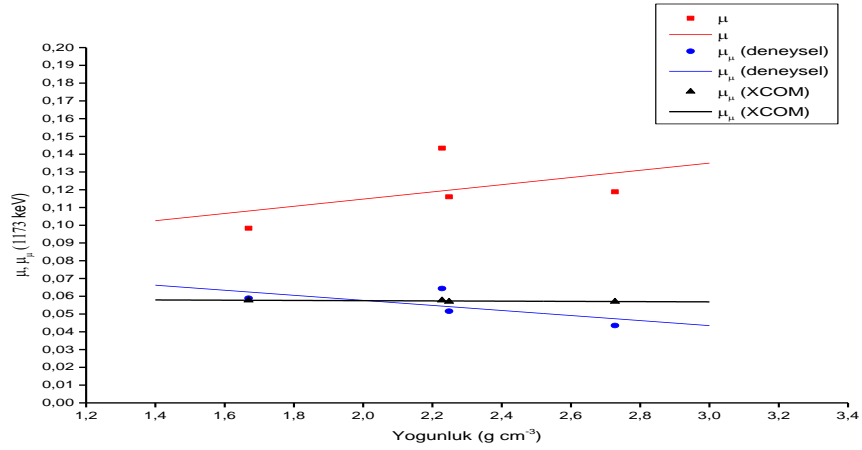
Lineer zayıflatma ve kütle zayıflatma katsayılarının, 661.7, 1173.2 ve 1332.5 keV gama enerjilerinde, materyalin yoğunluğu ile değişimini, birlikte incelemek ve deneyler ve hesaplamalar sonucunda bulunan kütle zayıflatma katsayılarını, teorik değer olarak kabul edilen XCOM değerleri ile karşılaştırılmak üzere Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, çizilmiştir.

Şekil 4.4. de 661.7 keV gama enerjisi karşısında numunelerin lineer zayıflatma katsayıları, yoğunlukla artarken, kütle zayıflatma katsayılarındaki değişim, lineer zayıflatma katsayısına oranla azalmakta, kütle zayıflatma katsayıları sabit bir değere yaklaşmaktadır. Ayrıca söz konusu enerji için numunelerin deneysel kütle zayıflatma katsayıları, XCOM değerleri etrafında dağılmaktadır.

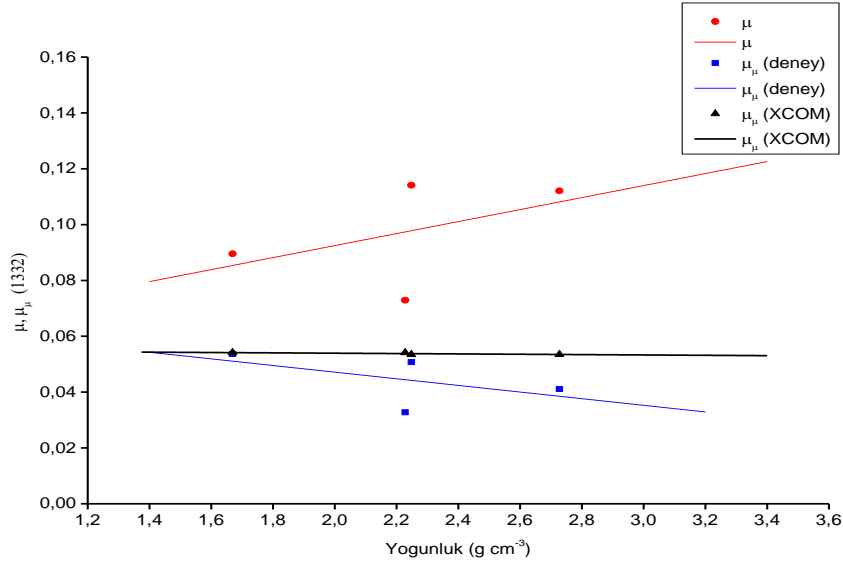
Aynı inceleme 1173.2 ve 1332.5 keV enerjiler için benzer sonuçlar verdiği Şekil 4.5., Şekil 4.6. de görülmektedir.



Şekil 4.4. Linear, deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının 661.7 keV gama enerjisinde yoğunlukla değişimi



Şekil 4.5. Linear, deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının 1173.2 keV gama enerjisinde yoğunlukla değişimi



Şekil 4.6. Lineer, deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının 1332.5 keV gama enerjisinde yoğunlukla değişimi

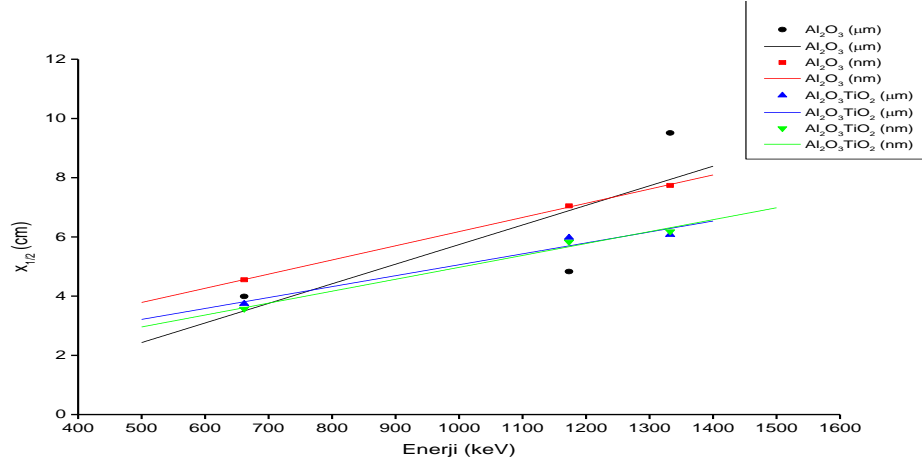
Sonuç olarak lineer zayıflatma katsayısı foton enerjisine ve materyalin yoğunluğuna bağlıdır; yoğunluk ile artmalıdır, ancak bulduğumuz deneysel kütle zayıflatma katsayıları beklendiği gibi sabit bir değere yaklaşmaktadır (Akkurt, I., Kilincarslan, S., & Basyigit, C., 2004).

Malzemelerin radyasyona karşı davranışı hakkında bilgi veren lineer ve kütle zayıflatma katsayılarından dışında diğer iki parametre HVL ve TVL kalınlık değerleridir. İncelediğimiz numunelerin HVL ve TVL kalınlıkları deneysel olarak bulunan lineer zayıflatma katsayılarından Denklem 2.12 ile hesaplanmıştır. Her numunenin bu çalışmada kullandığımız gama enerjileri için, söz konusu HVL ve TVL parametre değerleri Çizelge 4.3. de verilmiştir.

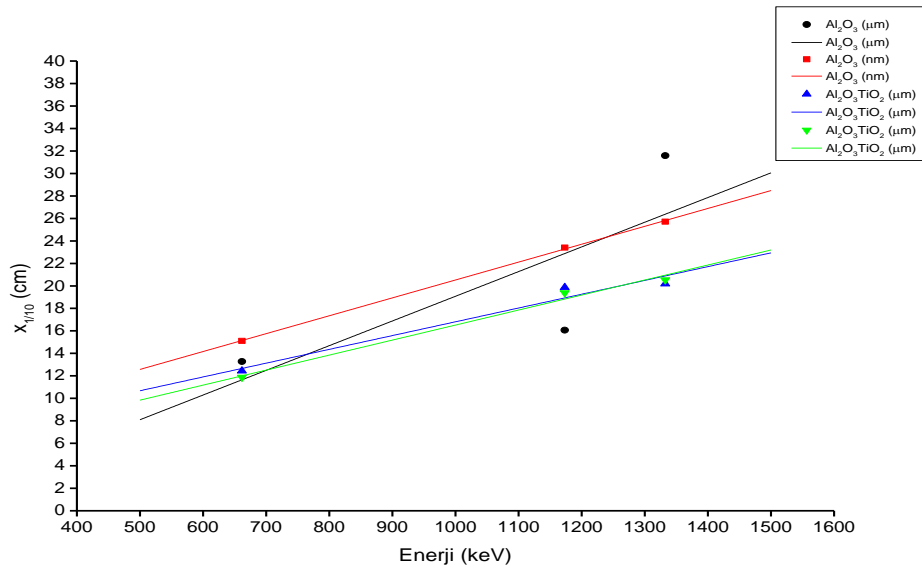
İncelediğimiz numunelerden, 661,7 keV gama radyasyonuna karşı en etkili zırhlama özelliğine sahip olanlar Al₂O₃.TiO₂(μm) ve Al₂O₃.TiO₂(nm) örnekleridir. Çizelge 4.3. den

1173.2 keV için $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 (\mu\text{m})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 (\text{nm})$ örnekleri, 1332.5 keV gama enerjisi için yine $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 (\mu\text{m})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2 (\text{nm})$ numuneleri öne çıkmaktadır.

İncelediğimiz malzemenin, HVL kalınlığının maruz kaldığı enerji değeri ile artması beklenmektedir. Şekil 4.7. ve Şekil 4.8. den incelediğimiz numunelerin HVL ve TVL kalınlıklarının radyasyonun enerjisi ile arttığı tespit edilmektedir.



Şekil 4.7. HVL Değerinin enerji ile değişimi



Şekil 4.8. TVL Değerinin enerji ile değişimi

4.1. Tartışmalar

İncelediğimiz $Al_2O_3(\mu m)$, $Al_2O_3(nm)$ ve $Al_2O_3.TiO_2(\mu m)$, $Al_2O_3.TiO_2(nm)$ numunelerinden, $Al_2O_3.TiO_2(\mu m)$ ve $Al_2O_3.TiO_2(nm)$ her üç gama kaynağımız için yüksek lineer zayıflatma katsayılarına sahipken, kütle zayıflatma katsayıları yüksek olan numune $Al_2O_3(nm)$ olduğu gözlenmiştir.

Gama radyasyonuna karşı yüksek zırhlama özelliğine sahip örneklerimizi, literatürdeki bileşik ve kompozit malzemelerden bir kısmı ile kıyaslayarak, bulduğumuz sonuçların bilim ve teknolojiye katkısı hakkında bilgi edinebiliriz. Çizelge 4.4. den bilgi edinebiliriz.

661.7 keV'lik gama enerjisine karşılık en yüksek direnç gösteren $Al_2O_3.TiO_2(\mu m)$ ve $Al_2O_3.TiO_2(nm)$ numunelerimizin, lineer zayıflatma katsayıları; 0.18513 ve 0.19398 cm^{-1} dir ve bu değerler, Al-4% Cu/B₄ metal kompozit malzemelerine ait lineer zayıflatma katsayılarından düşük (Akkurt, I., Günoğlu, K., Çalık, A., Karakas, M.S. 2014) B₄C Al metal matrix kompozitler (Akkaş vd., 2015) örneklerine yakın ancak, HBN-TiB₂ kompozitler (Büyük, B., Tuğrul, A.B., Okan, A., Addemir, Ay, N. 2014) TiB₂-katkılanmış B₄C-silicon carbide kompozitler (Büyük, B., Tuğrul, A.B.2014) bazı paslanmaz ve BSs çelikler (Büyük, 2015) ve sıcak (kuvılcım) plazma-sinterlenmiş B₄C-Al (Büyük vd., 2015) örneklerinden yüksek bulunmuştur.

$Al_2O_3(nm)$ numunemiz 0.09123 $cm^2 g^{-1}$ değeri ile R. Baghari ve arkadaşlarının çalıştığı “kurşun oksit silikat camı” hariç BaO glas, Bi₂O₃ glas ve PbO cam örneklerinden (Bagheri, R., Moghaddam, A.K., Shirmardi, S.P., Azadbakht, B., Salehi, M.2018) ve A.H. El-Kateb ve arkadaşlarının çalışmalarındaki “kurşun antimon ” örneği haricindeki brass, bronz ve aliminyum silikon örneklerinden (El-Kateb, A.H., Rizk, R.A.M., Abdul-Kader, A.M. 2000) ve Tablo 4.3 deki diğer örneklerden daha yüksek bir değere sahiptir. $Al_2O_3.TiO_2(\mu m)$ ve $Al_2O_3.TiO_2(nm)$ örnekleri de 0.08235 ve 0.07113 $cm^2 g^{-1}$ değerleri ile Çizelge 4.3’ deki “kurşun oksit silikat camı” ve “kurşun antimon ” örnekleri hariç, diğer numunelerin değerlerine yakındır. Numunelerimizden 3.57 cm HVL kalınlığı ile

$\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ örneği, paslanmaz ve BS_2 çelik malzemeler (Büyük, 2015) hariç diğer örneklerden daha iyi bir zırhlama özelliği arz etmektedir.

1173.2 keV'lik gama enerjisine karşı lineer zayıflama katsayıları açısından kıyaslama yaparsak, $\text{Al}_2\text{O}_3(\mu\text{m})$ numunemiz 0.14341 cm^{-1} değeri ile Al-4% Cu/ B_4C metal matrix kompozitleri (Akkurt vd., 2014) malzemelerine ait değerlerinin gerisinde kalmaktadır, ancak diğer örneklerin önüne geçmektedir. $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\mu\text{m})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ örneklerimizin 0.11596 ve 0.11881 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayıları, B. Büyük ve arkadaşlarının çalışmalarındaki TiB_2 katkılanmış B_4C -SiC örneklerine yakın ancak daha az gama radyasyonuna karşı direnç göstermektedir (Büyük, B., Tuğrul, A.B. 2015). Örneklerimizin 1173.2 keV'lik gama enerjisine karşı kütle zayıflatma değerleri, Bi_2O_3 , PbO, BaO ile karıştırılmış silikt camları (Bagheri vd., 2018), S. Chen ve arkadaşlarının incelediği hafif malzemelerden “çelik-çelik kompozit metal köpüğü”, Al-çelik kompozit metal köpüğü”, “kapalı hücre kompozit metal köpüğü” ve “dolgulu açık hücre köpükleri” (Chen, S., Bourham, M., Rabiei, A. 2014) ve B. Büyük ve arkadaşlarının çalışmalarındaki TiB_2 reinforced B_4C -SiC (Büyük, B., Tuğrul, A.B. 2015) örnekleriyle kıyaslanabilir niteliktedir.

1332.5 keV gama enerjisine ilişkin olarak $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\mu\text{m})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ örneklerimizin değerleri 0.11411 ve 0.1121 cm^{-1} olup diğer alüminyum oksit örneklerinden daha yüksek gama radyasyonuna karşı zırhlama özelliği sergilerken, Al-4% Cu/ B_4C metal matrix kompozitleri (Akkurt vd., 2014) ve TiB_2 ile katkılanmış B_4C -SiC (Büyük, B., Tuğrul, A.B. 2015) örneklerinin gerisinde kalmaktadır. Kütle zayıflatma katsayısı $0.05364 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ değeri ile $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{nm})$ en iyi direnç arz ederken, $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\mu\text{m})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ örneklerinin de 0.05076 ve $0.0411 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ değerleri ile yakın bir özelliğe sahip olduğunu görüyoruz. Bu değerler Çizelge 4.4' de listelenen değerlerden sadece “dolgulu açık hücre köpükleri” (Chen vd., 2014) gerisinde kalmakta, buna karşılık “lead oxide silicate glas” (Bagheri vd., 2018), A.H. El-Kateb ve arkadaşlarının çalışmalarındaki örneklerden “lead antimony” örneği haricindeki brass, bronz ve aliminium silicon örneklerinden (El-Kateb vd., 2000) ve TiB_2 reinforced B_4C -SiC (Büyük, B., Tuğrul, A.B. 2015) örneklerine ait sonuçlara yakın bir değerlere sahiptir.

Sonuç olarak, bu yüksek lisans tezinde, $\text{Al}_2\text{O}_3(\mu\text{m})$, $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{nm})$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\mu\text{m})$, $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ numuneleri, üç farklı gama radyasyonu karşısındaki davranışları ilk kez incelenmiş, lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, HVL ve TVL kalınlıkları deneysel olarak belirlenip, kıyaslama yapılarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda bulunan sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Titanyum içeren $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\mu\text{m})$, $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2(\text{nm})$ örnekleri alüminyum oksit içeren bileşiklerden daha yüksek radyasyon zayıflatma; radyasyondan zırhlama etkisine sahiptir, bunun nedeni söz konusu bileşiklerde Z değerinin daha yüksek olmasıdır.
- Bu sonuç, 500-1000 keV olan orta enerji aralığında etkin, Compton saçılmasıyla ilişkili olabilir.
- $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ bileşiğinin parçacık boyutlarının mikrometreden nanometreye düşmesiyle daha iyi zayıflatma özelliği ortaya çıkmıştır.
- Bu sonuç nano parçacık özelliklerine ışık tutabilir.
- Örnek hazırlama yöntemimizin geliştirilmesiyle, örneklerimizin radyasyon zırhlama özelliği arttırılabilir.
- Gama radyasyonuna karşı alüminyum örneklerinin önemli zırhlama özellikleri yanı sıra, sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde çeşitli endüstrilerde kullanılabilir.
- Diğer yandan $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{TiO}_2$ bileşiklerinin ekonomik olması, nükleer teknolojide tercih sebebi olabilir.

Çizelge 4.4: Al₂O₃(μm), Al₂O₃(nm) ve Al₂O₃.TiO₂(μm), Al₂O₃.TiO₂(nm) numunelerinin üç gama kaynağı için liner ve kütle zayıflatma katsayıları.

Örnekler	661.7 keV				1173.2 keV				1332.5 keV			
	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ _m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ _m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ _m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)
Al ₂ O ₃ ;mm (Bu çalışma)	0.1735 5	0.0779 1	3.99	13.27	0.14341	0.06438	4.83	16.06	0.07292	0.03274	9.51	31.58
Al ₂ O ₃ ;nm (Bu çalışma)	0.1523 4	0.0912 3	4.55	15.11	0.09835	0.05892	7.05	23.412	0.08953	0.05364	7.74	25.72
Al ₂ O ₃ .TiO ₂ ;mm (Bu çalışma)	0.1851 3	0.0823 5	3.74	12.44	0.11596	0.05158	5.98	19.86	0.11411	0.05076	6.07	20.18
Al ₂ O ₃ .TiO ₂ ;nm (Bu çalışma)	0.1939 8	0.0711 3	3.57	11.87	0.11881	0.04356	5.83	19.38	0.1121	0.0411	6.18	20.54
(Akkurt vd., 2014)	0.233 0.244 0.240 0.230				0.189 0.185 0.181 0.173				0.158 0.157 0.140 0.159			
(Akkaş vd., 2015)	0.1919 0.1874 0.1839 0.1805	0.0727 4 0.0719 1 0.0717 5 0.0714 6										
(Büyük vd., 2015)	0.1073 (h-BN) 0.1565 (h-BN- TiB ₂)	0.0715 3 (h-BN) 0.0706 9 (h-BN- TiB ₂)	6.460 (h-BN) 4.429 (h-BN- TiB ₂)									

Örnekler	661.7 keV				1173.2 keV				1332.5 keV			
	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)
(Büyük, B., Tuğrul, A.B. 2014)	0.1618 0.1662 0.1700 0.1669 0.1747	0.06760 0.06880 0.07022 0.06711 0.07000										
(Büyük, 2015)	0.539- 0.609	0.06917- 0.07584	1.138- 1.286									
(Büyük vd., 2015)	0.157 0.168 0.174 0.180	0.06359 0.06763 0.06977 0.07163	4.415 4.126 3.984 3.851									

Örnekler	661.7 keV				1173.2 keV				1332.5 keV			
	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	H V L (c m)	TVL (cm)
(Bagheri vd., 2018)		0.074-0.0776 (BaO glass) 0.0863- 0.0986 (Bi ₂ O ₃ glass) 0.0861- 0.0975 (PbO glass) 0.0975 (lead oxide silicate glass)				0.0604 (lead oxide silicate glass)				0.052 (lead oxide silicate glass)		
(El-Kateb vd., 2000)		0.0724 (Brass) 0.076 (Bronz) 0.0736 (Steel) 0.0749 (Aluminium- silicon) 0.1091 (Lead- antimony)								0.0509 (Brass) 0.0512 (Bronz) 0.0524 (Steel) 0.0529 (Aluminium- silicon) 0.0555 (Lead-antimony)		
(Büyük, B., Tuğrul, A.B. 2015)					0.1351 0.1371 0.1411	0.05604 0.05622 0.05613			0.1223 0.1232 0.1280	0.05064 0.05047 0.05095		

Örnekler	661.7 keV				1173.2 keV				1332.5 keV			
	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)	μ (aver.) (cm ⁻¹)	μ_m (cm ² g ⁻¹)	HVL (cm)	TVL (cm)
(Chen vd., 2014)		0.0806 (steel- steel composit metal foam (CMF))				0.0525 (steel- steel CMF)				0.0524 (steel-steel CMF)		
		0.0779 (Al-steel CMF)				0.0561 (Al-steel CMF)				0.0481 (Al-steel CMF)		
		0.0733 (Al A356)				0.0549 (Al A356)				0.0489 (Al A356)		
		0.0707- 0.0869 (Open-cell Al foam)				0.0547- 0.0771 (Open- cell Al foam)				0.0514- 0.0727 (Open-cell Al foam)		

KAYNAKLAR

- Akkaş, A., Tuğrul, A.B., Akdemir, O., Marşoğlu, M., Ağacan, B., Büyük, B. (2015). Radiation Shielding Effect of Boron Carbide Aluminum Metal Matrix Composite. *Acta Physica Polonica A*, 127(4), 947-949.
- Akkurt, I., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2004). The photon attenuation coefficients of barite, marble and limra. *Annals of Nuclear Energy*, 31(5), 577-582.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2010). Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of Nuclear Energy*, 37(7), 910-914.
- Akkurt, I., Günoğlu, K., Çalık, A., Karakas, M.S. (2014). Determination of gamma ray attenuation coefficient of Al-4% Cu/B₄C metal matrix composites at 662, 11783 and 1332 keV, *Bull. Mater. Sci*, 37(5), 1175-1179.
- Bagheri, R., Moghaddam, A.K., Shirmardi, S.P., Azadbakht, B., Salehi, M. (2018). Determination of gamma-ray shielding properties for silicate glasses containing Bi₂O₃, PbO, and BaO. *Journal of Non-Crystalline Slids*, 479, 62-71.
- Berger, M. J., Hubbell, J. H., Seltzer, S. M., Chang, J., Coursey, J. S., Sukumar, R., Zucker, D.S. & Olsen, K. (2008). *NIST standard reference database 8 (XGAM)*. XCOM:PhotonCrossSectionsDatabase. <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm> 2017.
- Bilge, A. N. (1985). *Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması*, İstanbul: Çnaem.
- Büyük, B., Tuğrul, A.B., Okan, A., Addemir, N. Ay. (2014). Gamma Attenuation Behavior of h-BN and h-BN- TiB₂ Composites. *Acta Physica Polonica A*, 125(2), 420-422.

- Büyük, B., Tuğrul, A.B. (2014). An investigation on gamma attenuation behaviour of titanium diboride reinforced boron carbide-silicon carbide composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 97, 354-359.
- Büyük, B. (2015). Gamma Attenuation Behavior of Some Stainless and Boron Steels. *Acta Physica Polonica A*, 127(4), 1342-1345.
- Büyük, B., Tuğrul, A.B., Cengiz, M., Yücel, O., Goller, G., Sahin, F.C. (2015). Radiation Shielding Properties of Spark Plasma Sintered Boron Carbide-Aluminium Composites. *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 132-134.
- Büyük, B., Tuğrul, A.B. (2015). Investigation on the Behaviours of TiB₂ Reinforced B₄C-SiC Composites Against Co-60 Gamma Radiosotope Source. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(1), 24-29.
- Chen, S., Bourham, M., Rabiei, A. (2014). Novel light-weight materials for shielding gamma ray. *Radiation Physics and Chemistry*, 96, 27-37.
- El-Kateb, A. H., Rizk, R.A.M., Abdul-Kader, A.M. (2000). Determination of atomic cross-sections and effective atomic numbers for some alloys. *Annals of Nuclear energy* 27, 1333-1343.
- Griffiths, D.J. (2005). Elektromanyetik Teori, Basri Ünal (Çev.) London Prentice-Hall International Limited
- Kaplan, I. (1963). *Nuclear Physics*. London: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Krane, K. S. (1988). *Introductory Nuclear Physics*, New York.:John Wiley & Sons, Inc
- Knoll, G.F. (2000). *Radiation Detection and Measurement*, New York: John Wiley and Sons.
- Mayer, J.W. (1962). Nuclear Particle Detectros, IRE (Inst. Radio Engrs.) *Trans.Nucl.Sci*, 9, 124-134.
- Medhat, M.E. (2009). Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt. *Annals of Nuclear Energy*, 36, 849-852.

Tsoufanidis, N. (1995). *Measurement and Detection of Radiation*. Newyork: Taylor & Francis Publisher.

Smith, W.F. (1996). *Materials Science and Engineering*, Columbus: Mcgraw-Hill.

<https://www.ceramtec.com/ceramic-materials/aluminum-oxide/> (accessed, 10.03.2018)

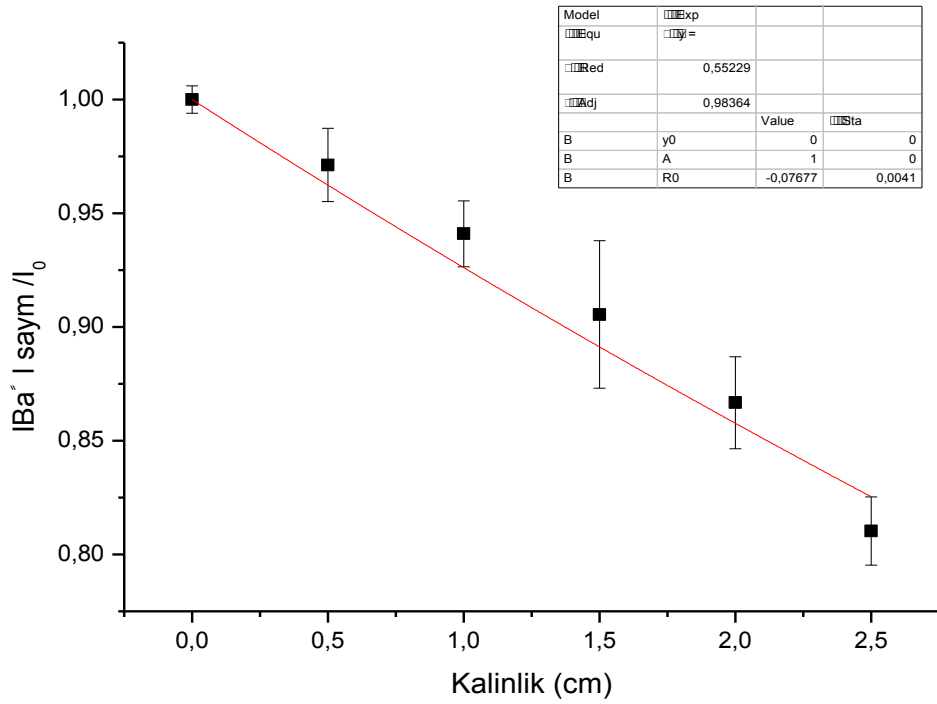
<https://www.ceramtec.com/ceramic-materials/aluminum-titanate/>(accessed, 10.03.2018)

www.lanl.gov/orgs/n/n1/panda/00326397.pdf (08.09.2017)

EKLER

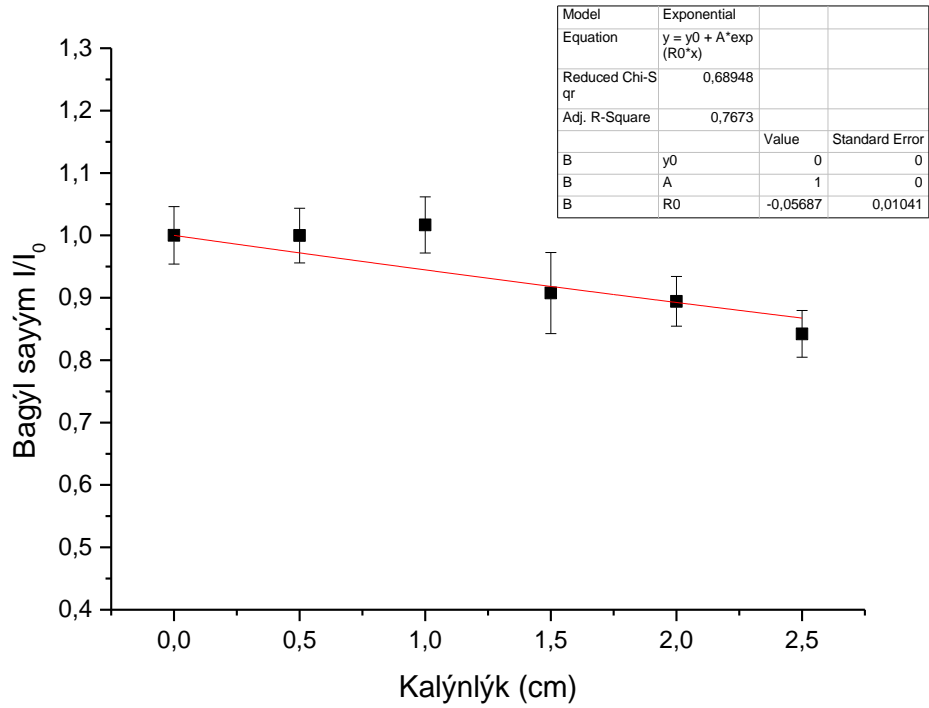
Ek 1. Al₂O₃ μm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	7585±176	7590±178	7644±177	7606 ±177	1	0.0061
5	7409±173	7260±175	7493±175	7387±174	0.9712	0.0161
10	7242±173	7192±175	7039±175	7157±174	0.9410	0.0145
15	6615±175	7087±169	6961±172	6887±172	0.9055	0.0324
20	6439±175	6742±169	6597±172	6592±172	0.8667	0.0202
25	6118±167	6082±166	6290±168	6163±167	0.8103	0.0150



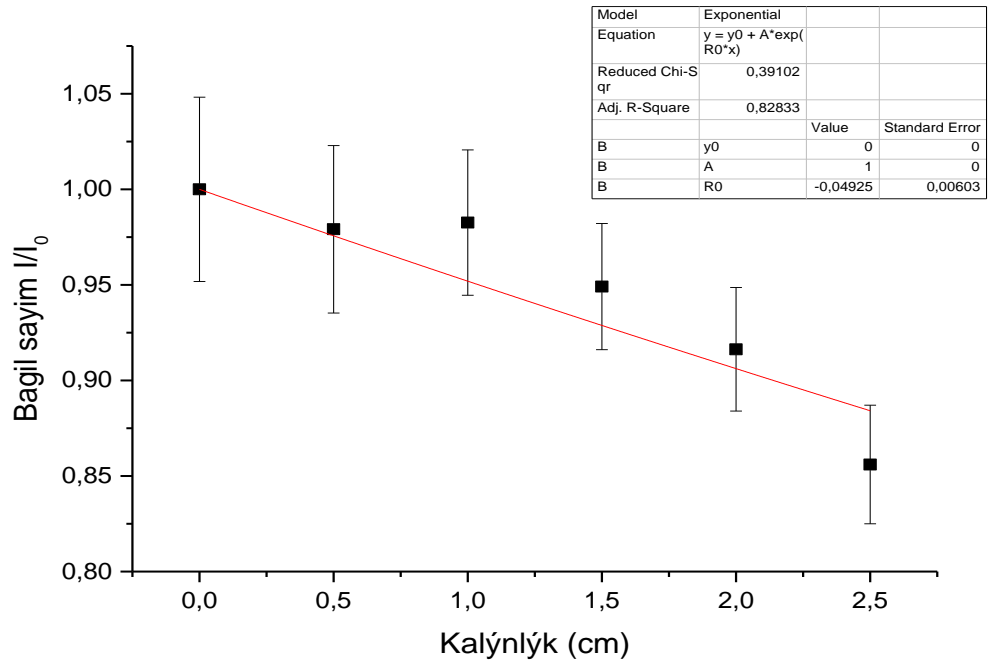
Ek 2. Al₂O₃ μm (toz), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	7129±356	7279±311	7597±326	7335 ±331	1	0.0461
5	7561±292	7307±292	7134±347	7334±310	0.9998	0.04380
10	7717±314	7339±295	7319±283	7458±297	1.0168	0.04508
15	6570±304	6283±300	7119±270	6657±291	0.9076	0.06503
20	6499±264?	6818±293	6453±251	6590±269	0.8943	0.03989
25	6385±317	6022±302	6123±222	6177±280	0.8421	0.03749



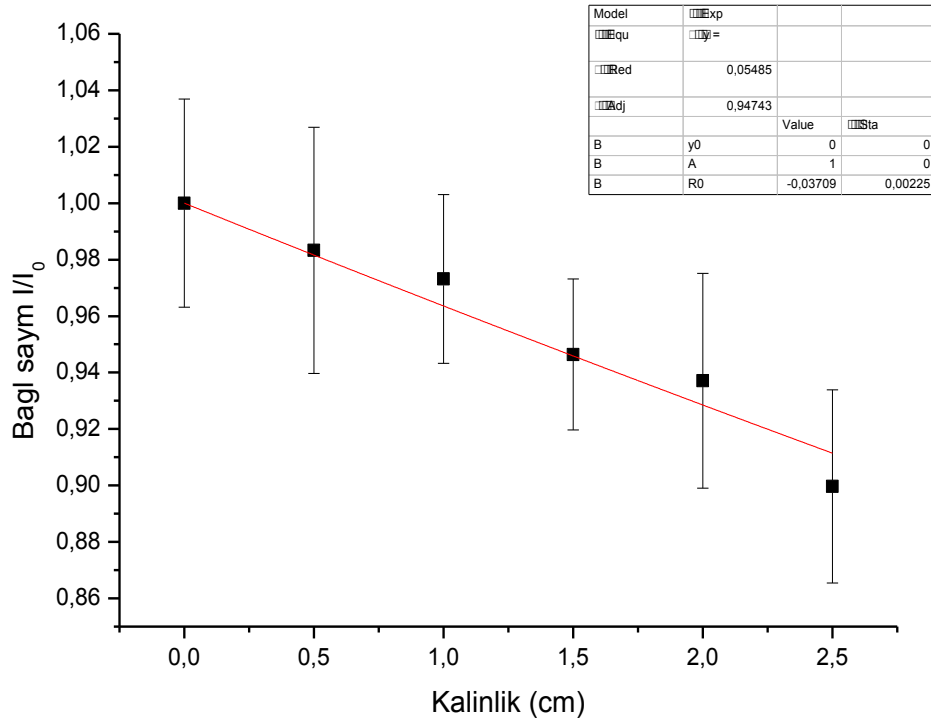
Ek 3. Al₂O₃ µm (toz), örneklerinin Co-60,1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁ (3600 s)	I ₂ (3600 s)	I ₃ (3600 s)	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8345±252	8715±221	8929±224	8663 ±232	1	0.04823
5	8512±231	8230±221	8703±211	8481±221	0.9791	0.04324
10	8334±221	8623±213	8580±212	8512±215	0.9826	0.03804
15	8250±224	8258±229	8159±234	8222±229	0.9491	0.03299
20	7874±238	7924±234	8015±211	7938±228	0.9163	0.03232
25	7340±210	7517±237	7390±238	7416±228	0.8560	0.03104



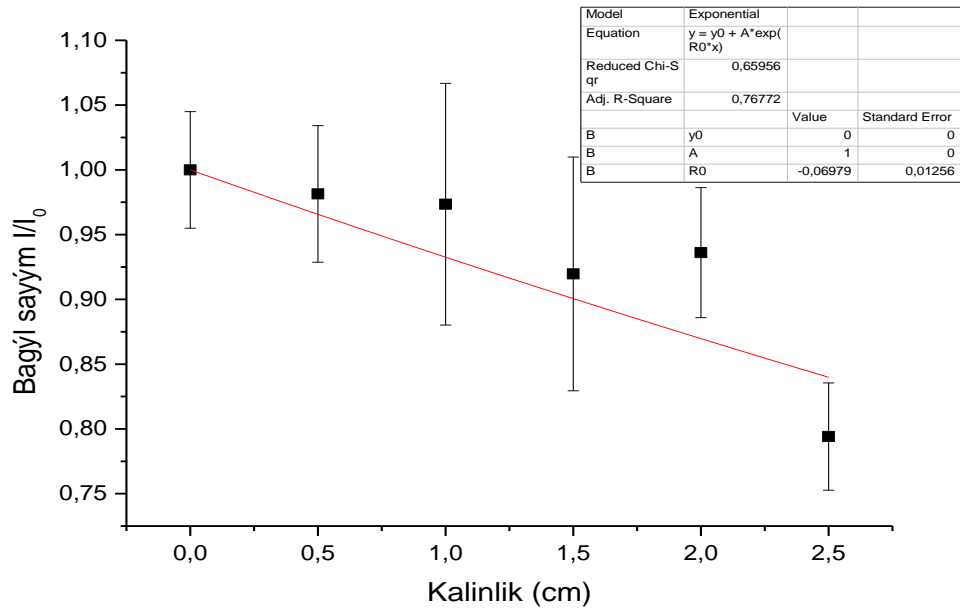
Ek 4. Al₂O₃ nm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	7582±178	7984±165	7644±177	736 ±177	1	0.0369
5	7368±176	7886±171	7568±167	7607±174	0.9833	0.0436
10	7456±174	7492±177	7639±175	7529±174	0.9732	0.0299
15	7316±175	7318±172	7268±171	7301±172	0.9464	0.0267
20	7155±179	7101±177	7494±168	7250±172	0.9371	0.0380
25	6938±177	6794±178	7150±169	6960±167	0.8997	0.0342



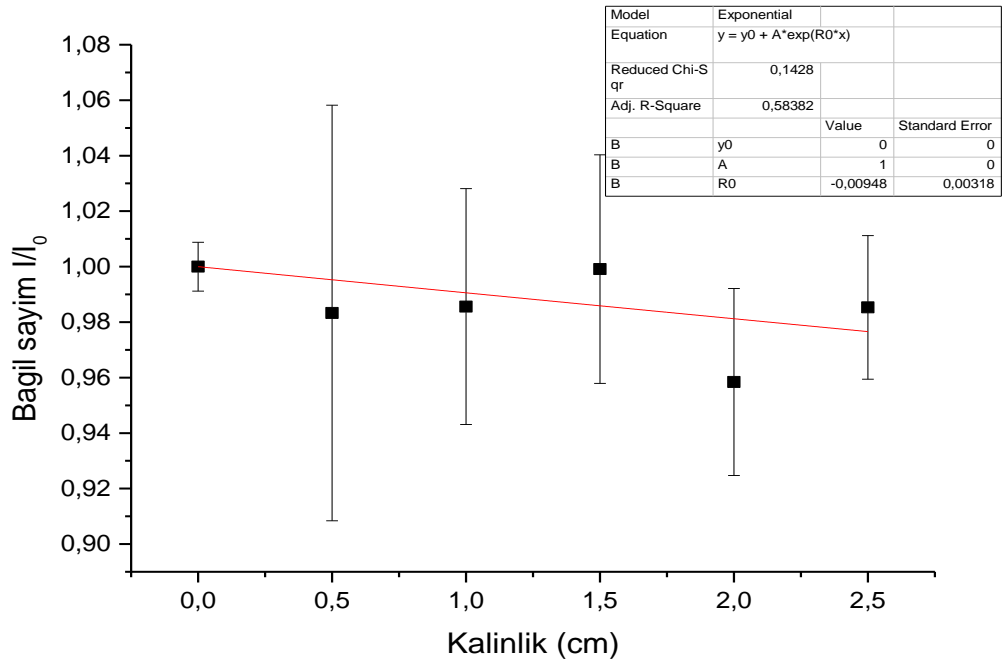
Ek 5. Al₂O₃ nm (toz), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8554±286	7668±372	7204±321	7809±326	1	0.1242
5	6950±294	6568±273	7054±247	6857±271	0.8782	0.0838
10	8221±317	6939±295	7054±282	7404±211	0.9483	0.1232
15	6798±270	6834±263	7431±270	7021±267	0.8991	0.0912
20	7146±292	7130±288	7123±297	7133±292	0.9135	0.0803
25	7393±222	6414±287	5988±292	6598±267	0.8450	0.1184



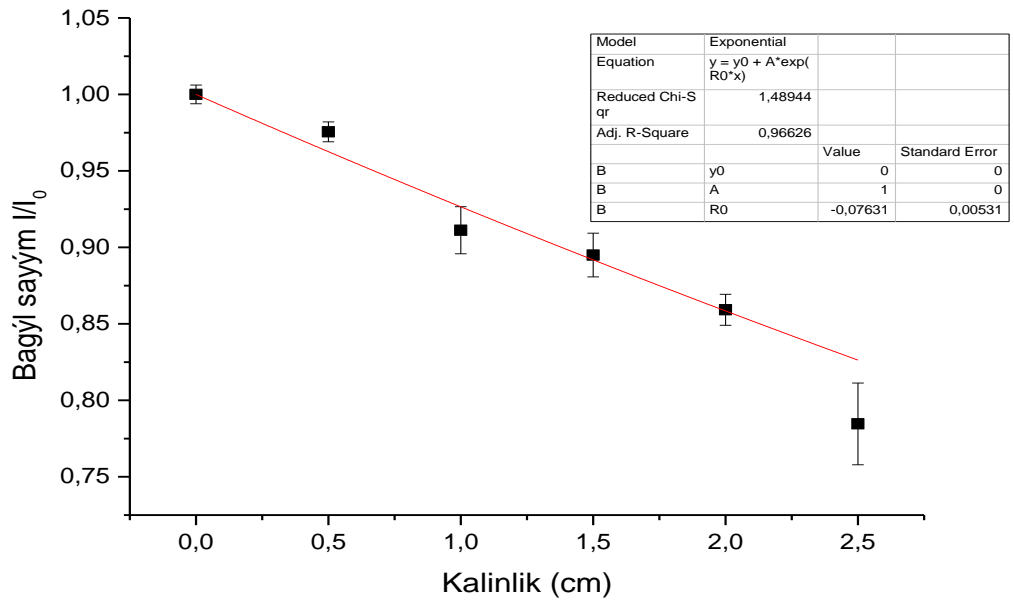
Ek 6. Al₂O₃ nm (toz), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8496±282	8395±225	8426±267	8439±258	1	0.0088
5	7573±269	8716±249	8604±247	8297±255	0.9833	0.0749
10	7922±257	8423±213	8604±210	8317±227	0.9856	0.0425
15	8307±249	8086±256	8761±240	8384±248	0.9935	0.0412
20	8395±247	7846±260	8025±257	8088±255	0.9584	0.0337
25	8178±253	8208±251	8560±243	8315±249	0.9853	0.0259



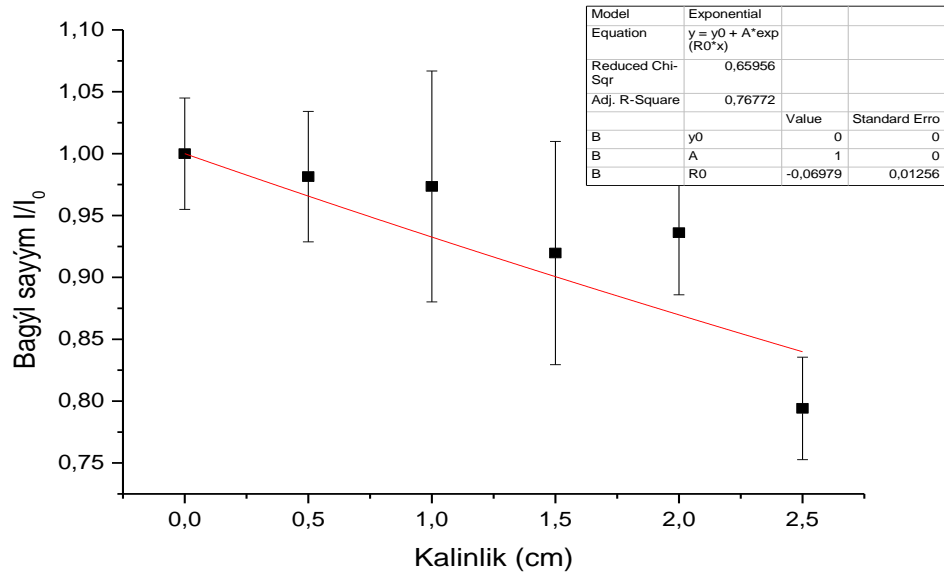
Ek 7. $Al_2O_3.TiO_2$ μm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1	I_2	I_3	I_{ort}	I_{ort}/I_0	$d(I_{ort}/I_0)$
0	7585±176	7590±178	7644±177	7606 ±177	1	0.0061
5	7415±175	7386±174	7460±177	7420±175	0.9755	0.0065
10	6991±176	7001±179	6800±181	6931±179	0.9112	0.0154
15	6845±173	6690±174	6889±173	6808±173	0.8950	0.0143
20	6507±173	6483±175	6617±169	6534±172	0.8592	0.0101
25	6020±169	5746±176	6138±165	5968±170	0.7846	0.0267



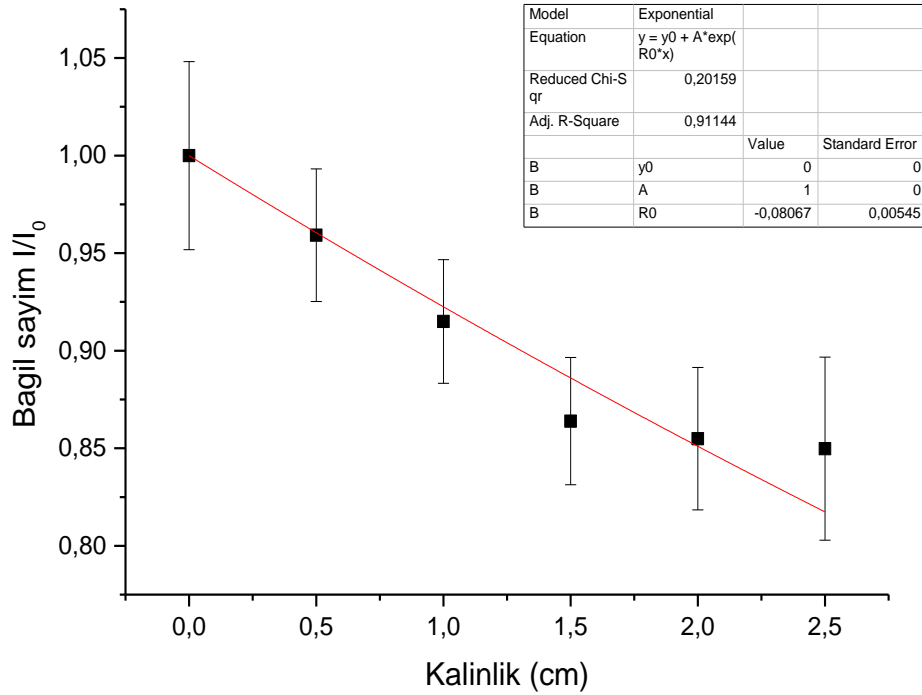
Ek 8. $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$ μm (toz), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1	I_2	I_3	I_{ort}	I_{ort}/I_0	$d(I_{\text{ort}}/I_0)$
0	7129±356	7279±311	7597±326	7335 ±331	0	0.045
5	7553±285	7023±321	7019±322	7198±309	0.9814	0.0527
10	6400±286	7549±276??	7473±349	7141±304	0.9735	0.09332
15	7335±288	6093±253	6809±319	6746±287	0.9197	0.0902
20	7059±233	6529±290	7010±284	6866±269	0.9361	0.0502
25	5564±279	5882±302	6028±222	5825±267	0.7941	0.0414



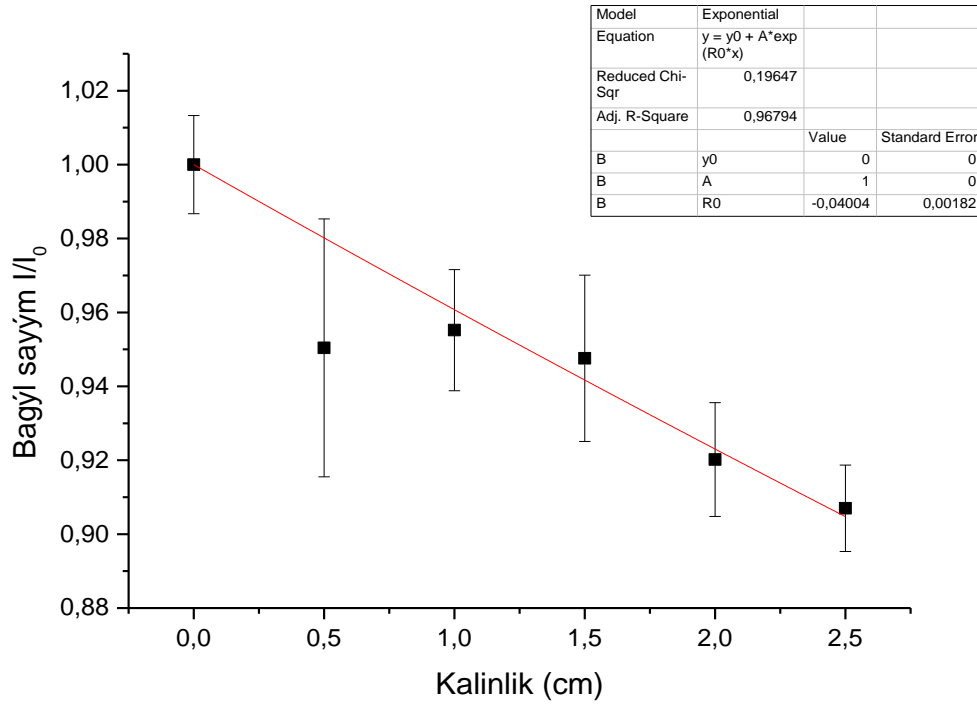
Ek 9. Al₂O₃.TiO₂ μm (toz), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁ (3600 s)	I ₂ (3600 s)	I ₃ (3600 s)	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8345±252	8715±221	8929±224	8663±232	1	0.0482
5	8226±220	8388±253	8315±228	8309±234	0.9592	0.0340
10	7974±217	7875±243	7931±257	7926±239	0.9150	0.0317
15	7499±248	7597±249	7355±254	7483±250	0.8639	0.0326
20	7498±244	7534±257	7187±248	7406±250	0.8549	0.0365
25	7495±216	7594±226	6997±303	7362±248	0.8498	0.0469



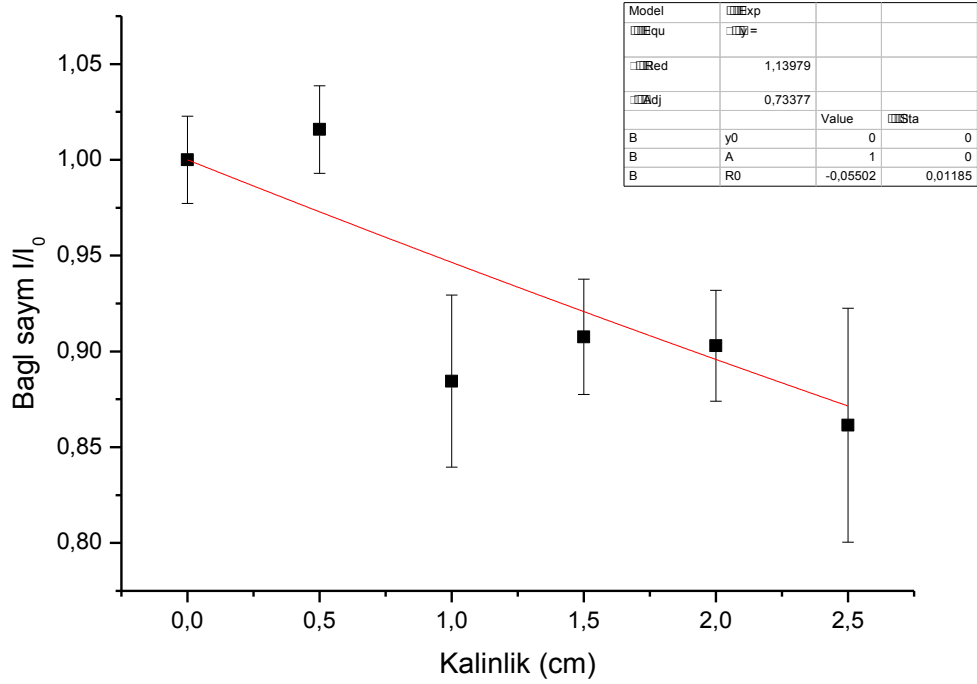
Ek 10. $Al_2O_3.TiO_2$ nm (toz), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1	I_2	I_3	I_{ort}	I_{ort}/I_0	$d(I_{ort}/I_0)$
0	8053±173	7924±179	8056±171	8011 ±174	1	0.0133
5	7388±174	7913±175	7539±181	7613±177	0.9504	0.0349
10	7704±176	7526±179	7726±173	7652±176	0.9552	0.0164
15	7418±178	7747±178	7608±180	7591±177	0.9476	0.0225
20	7474±177	7270±179	7372±176	7372±177	0.9202	0.0154
25	7228±177	7341±177	7230±168	6960±174	0.9070	0.0117



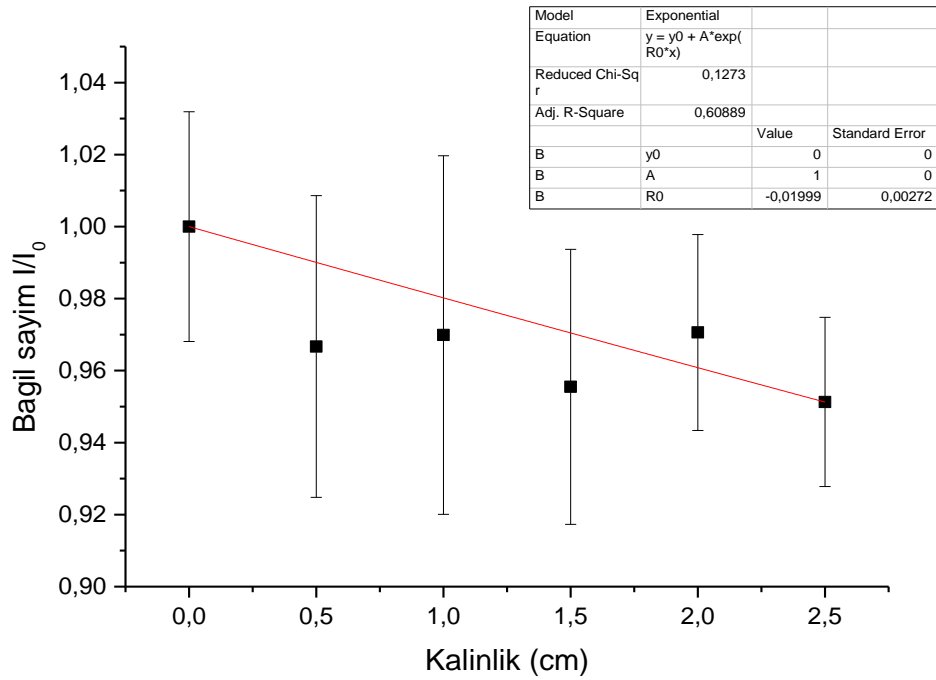
Ek 11. Al₂O₃.TiO₂ nm (toz), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃ (3600 s)	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	7654±286	7668±372	7404±321	7575±326	1	0.0277
5	7793±283	7641±278?	7650±286?	7728±282	1.0158	0.0229
10	6773±280	6356±235	6972±292?	6700±269	0.8845	0.0449
15	6985±313	6978±298	6663±302	6875±304	0.9076	0.0301
20	7019±326	6830±326	6672±309	6840±320	0.9029	0.0289
25	6669±296	6881±294	6028±252	6526±281	0.8615	0.0610



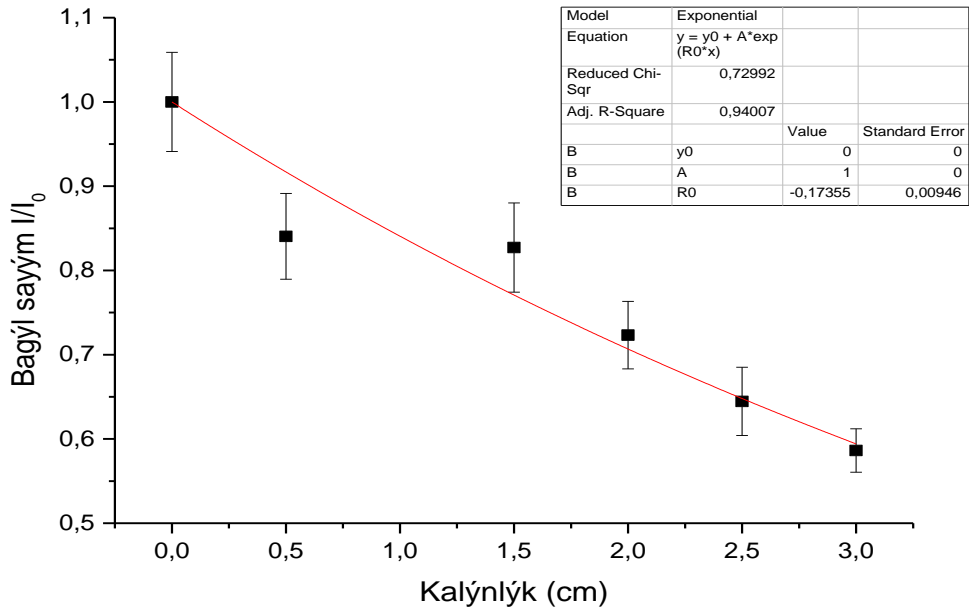
Ek 12. Al₂O₃.TiO₂ nm (toz), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁ (3600 s)	I ₂ (3600 s)	I ₃ (3600 s)	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8176±223	8019±227	8388±288	8194±246	1	0.0319
5	7588±268	8035±263	8141±255	7921±262	0.9667	0.0419
10	7529±268	8211±257	8102±249	7947±258	0.9699	0.0498
15	7553±271	8065±253	7871±257	7829±260	0.9555	0.0382
20	7989±282	8064±250	7808±260	7954±264	0.9706	0.0272
25	7712±261	7866±256	7808±243	8315±253	0.9513	0.0235



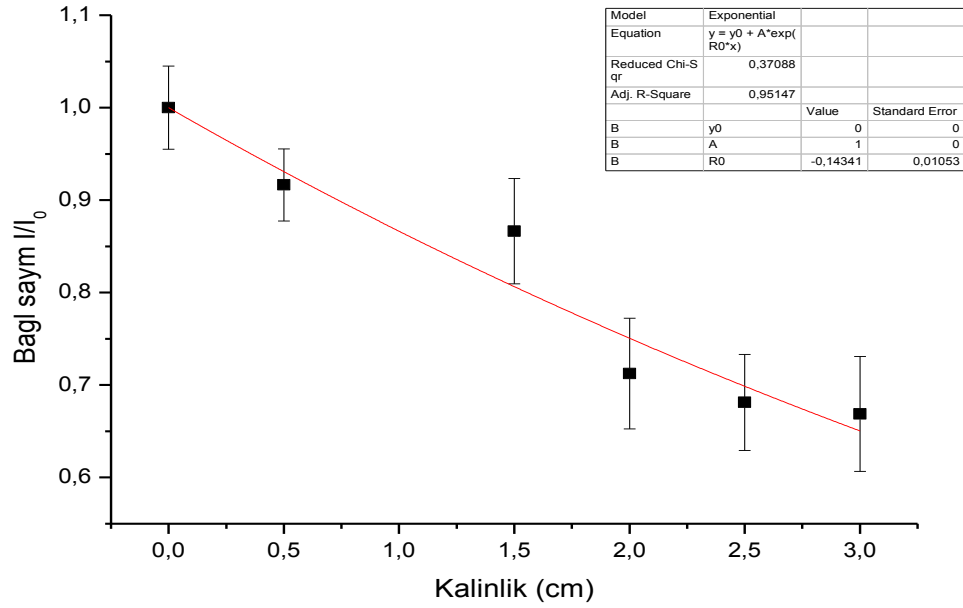
Ek 13. Al₂O₃ µm (disk), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	7968±181	8374±189	7712±187	8018 ±186	1	0.05888
0.510	6453±186	7045±197	6720±182	6739±188	0.8405	0.05091
1.510	6682±164	6287±176	6926±171	6632±170	0.8271	0.05295
2.021	5584±174	6007±167	5806±171	5799±171	0.7232	0.04004
2.492	4947±172	5129±169	5429±167	5168±169	0.6446	0.04052
3.000	4666±167	4657±165	4779±166	4701±166	0.5863	0.02584



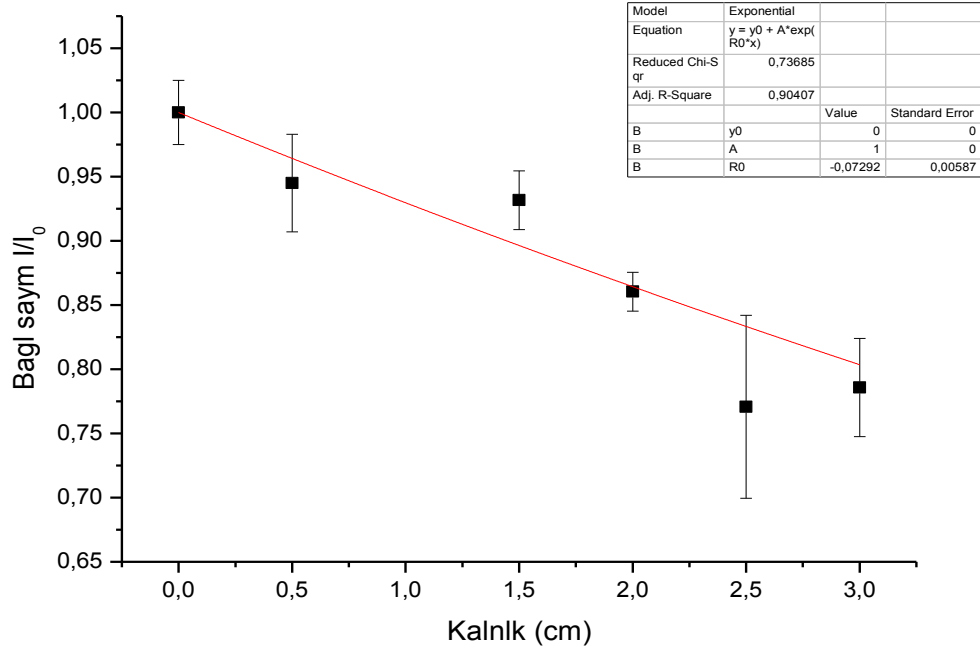
Ek 14. Al₂O₃ μm (disk), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃ (3600 s)	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8673±294	8468±290	8139±226	8427 ±270	1	0.045
5.10	7481±264	7898±276	7787±298	7722±279	0.9164	0.0389
15.10	7626±295	7448±317	6828±288	7301±300	0.8664	0.0569
20.21	6180±280	5475±251	6358±307	6004±279	0.7125	0.0599
24.92	5382±310	5672±304	6166±303	5740±306	0.6812	0.05184
30.00	6134±293	5622±228	5152±228	5636±250	0.6688	0.06208



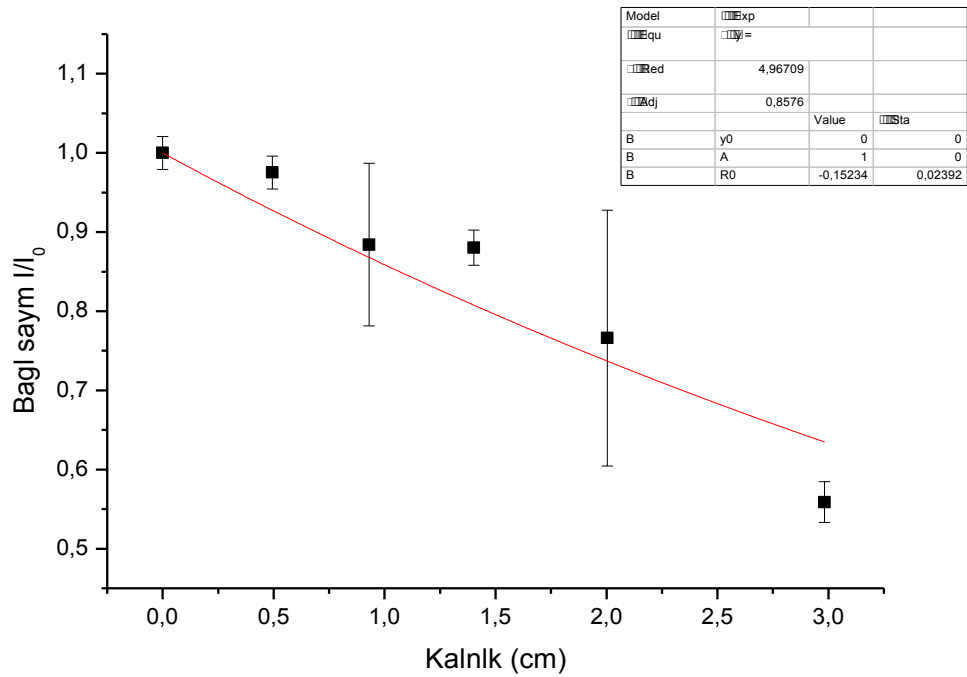
Ek 15. Al₂O₃ μm (disk), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8501±238	8715±225	8798±246	8798±246	1	8798±246
5.10	8246±234	8462±210	7877±220	8195±221	0.9451	0.03798
15.10	8094±251	8210±236	7934±219	8079±235	0.9317	0.0229
20.21	7460±247	7469±241	7454±243	7461±244	0.8604	0.0152
24.92	7159±203	6891±235	6001±201	6684±213	0.7708	0.07122
30.00	7083±229	6476±232	6881±201	6813±221	0.7857	0.03826



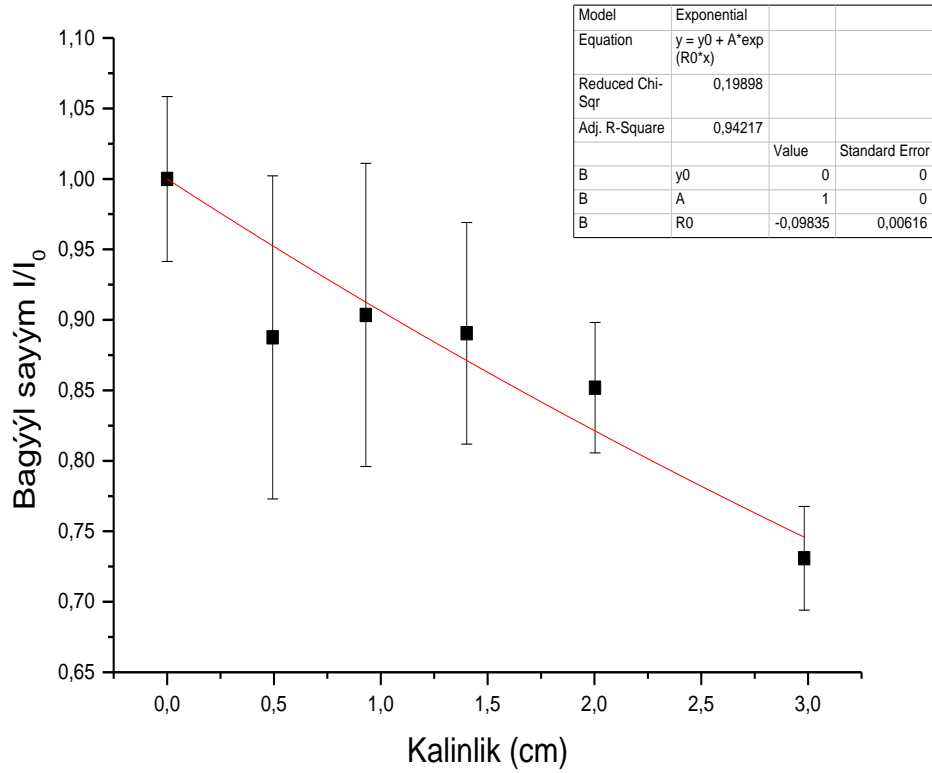
Ek 16. Al₂O₃ nm (disk), örneklerinin Cs-137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8716±231	8815±243	8972±234	8834±236	1	0.0207
4.94	8733±231	8733±248	8383±228	8616±236	0.9753	0.0269
9.3	7865±253	8684±209	6885±284	7811±249	0.8842	0.1028
14.02	7742±231	7953±232	7638±238	7778±234	0.8804	0.0223
20.03	7481±225	7694±224	5129±308	6768±252	0.7661	0.1615
29.82	5135±295	4968±251	4710±301	4938±282	0.5589	0.0256



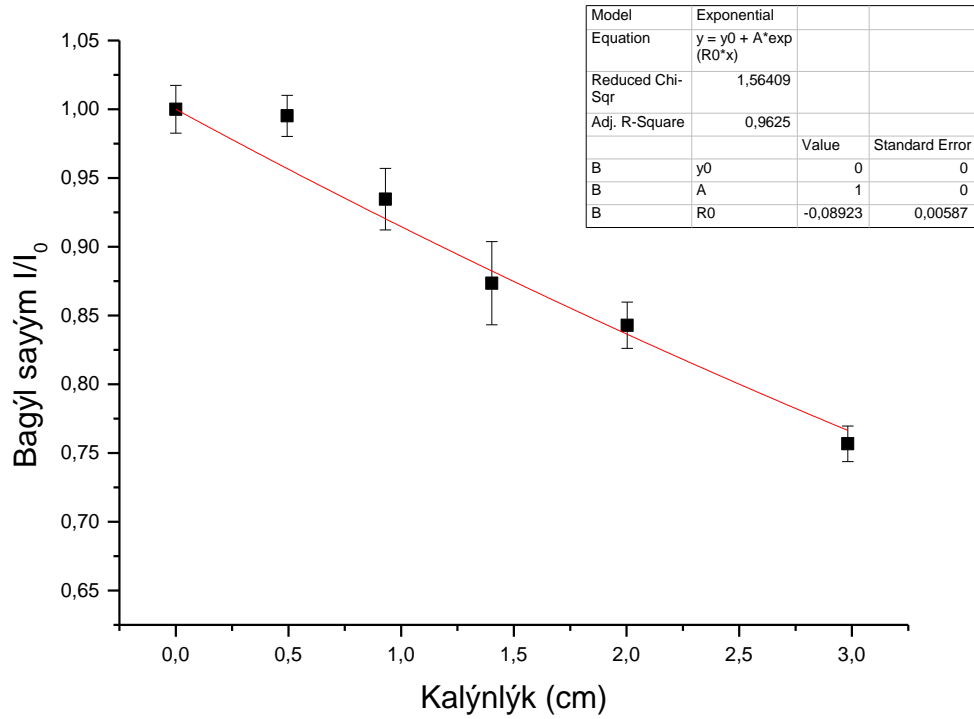
Ek 17. Al₂O₃ nm (disk), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁ (3600 s)	I ₂ (3600 s)	I ₃ (3600 s)	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	(8066±294	7935±325	7452±353	7818±324	1	0.0585
4.94	6636±293	6283±329	7897±290	6939±304	0.8876	0.1146
9.3	6187±311	7291±276	7712±298	7063±295	0.9035	0.1075
14.02	6504±319	7561±289	6821±281	6962±296	0.8905	0.0786
20.03	6535±298	6515±295	6930±336	6660±310	0.8519	0.0462
29.82	5880±333	5551±313	5710±338	5714±328	0.7309	0.0368



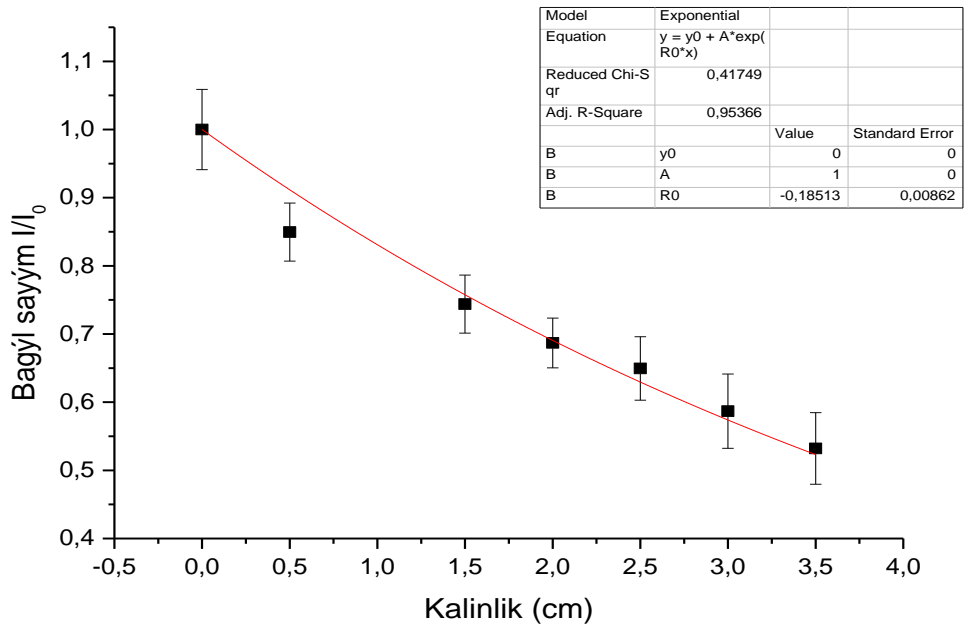
Ek 18. Al₂O₃ nm (disk), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (cm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	7933±174	8065±171	8126±174	8041±173	1	0.0174
4.94	7931±180	8011±180	8067±178	8003±179	0.9952	0.0149
9.3	7398±131	7457±178	7691±177	7515±162	0.9346	0.0224
14.02	7148±168	7162±173	6761±177	7024±173	0.8735	0.0303
20.03	6684±171	6894±169	6756±170	6778±170	0.8429	0.0168
29.82	6097±164	6008±166	6150±162	6085±164	0.7567	0.0129



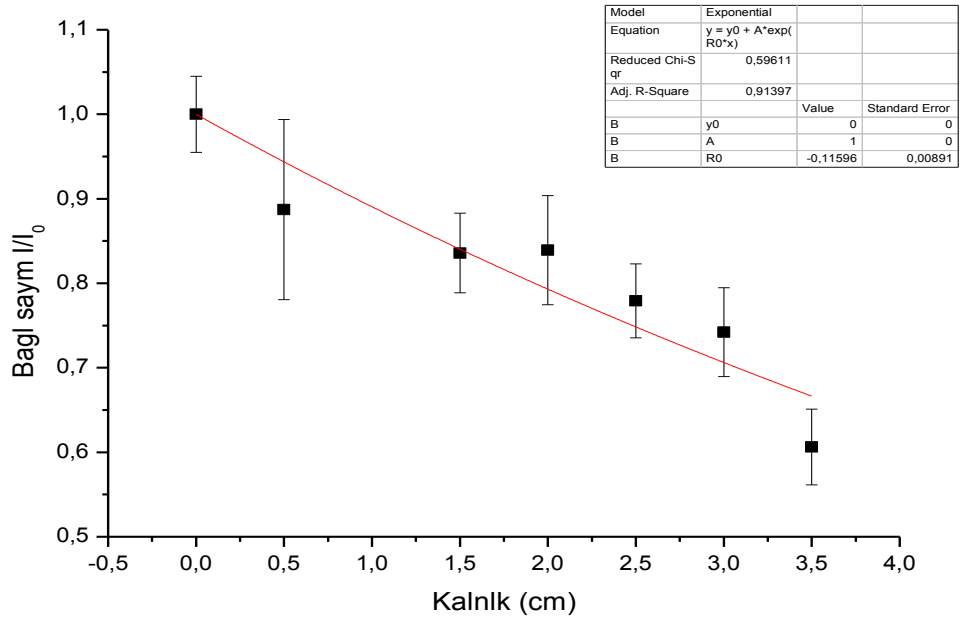
Ek 19. Al₂O₃.TiO₂ μm (disk), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	7968±181	8374±189	7712±187	8018 ±186	1	0.05888
5.01	6598±185	6873±182	6964±181	6812±183	0.8495	0.04261
14.91	5890±173	5778±171	6226±173	5965±172	0.7439	0.04248
20.22	5349±169	5468±170	5706±171	5508±170	0.6869	0.03649
25.01	5331±174	4861±178	5429±167	5207±173	0.6494	0.04653
30.10	5151±172	4423±166	4542±163	4705±167	0.5868	0.05449
35.00	4692±169	3954±167	4153±166	4266±167	0.5321	0.05252



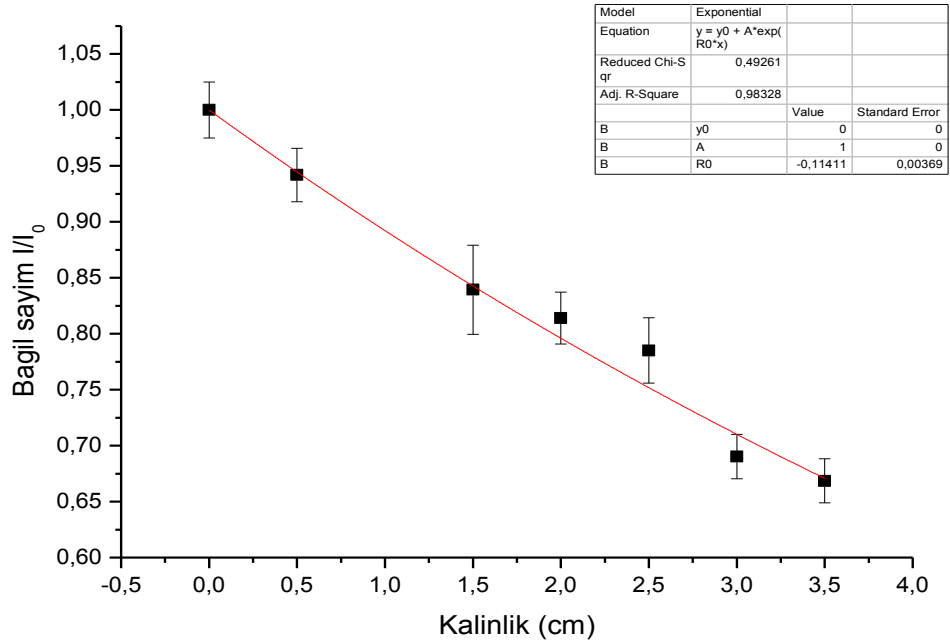
Ek 20. $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$ μm (disk), örneklerinin Co-60, 1173 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1 (3600 s)	I_2 (3600 s)	I_3 (3600 s)	I_{ort}	I_{ort}/I_0	$d(I_{\text{ort}}/I_0)$
0	8673±294	8468±290	8139±226	8427 ±270	1	0.045
0.501	7743±266	8176±338	6510±326	7476±310	0.8872	0.1064
1.491	6992±251	7393±263	6744±264	7043±259	0.8358	0.04716
2.022	7617±259	6654±254	6944±237	7072±250	0.8392	0.06447
2.501	6423±258	6360±291	6914±303	6566±284	0.7792	0.04377
3.010	6628±263	6294±256	5838±238	6253±252	0.7421	0.05270
3.500	5329±258	4717±246	5278±221	5108±242	0.6062	0.04472



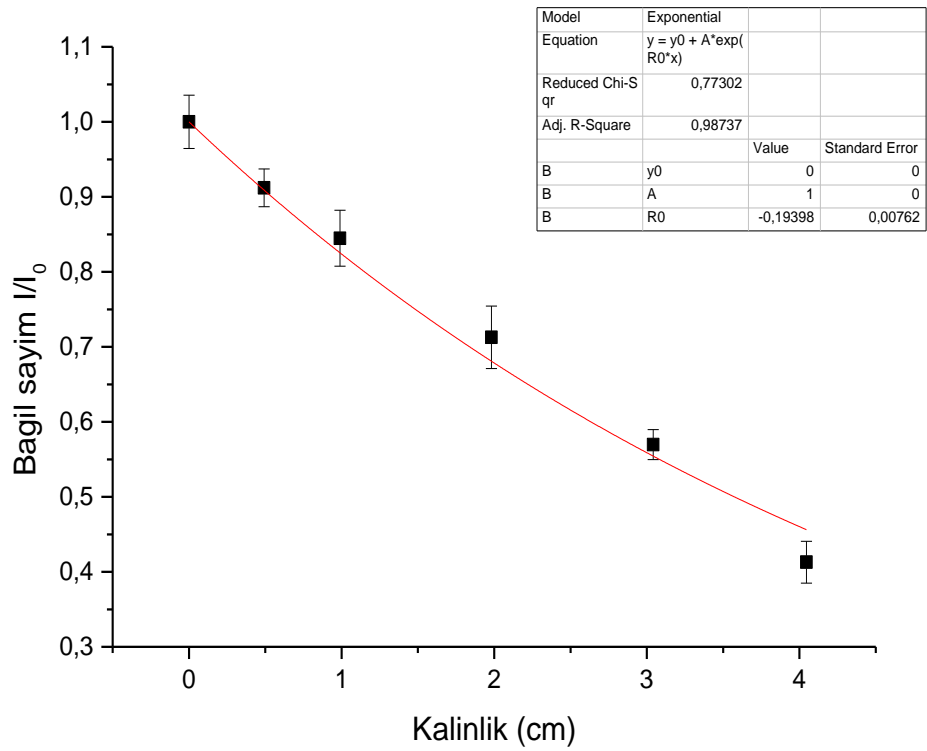
Ek 21. $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$ μm (disk), örneklerinin Co-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1 (3600 s)	I_2 (3600 s)	I_3 (3600 s)	I_{ort}	I_{ort}/I_0	$d(I_{\text{ort}}/I_0)$
0	8501±238	8715±225	8798±246	8671 ±236	1	0.0249
0.501	8034±256	8140±253	8329±237	8168±249	0.9419	0.02396
1.491	7268±246	7604±237	6963±245	7278±243	0.8394	0.03984
2.022	6892±247	7080±238	7204±243	7059±243	0.8140	0.02313
2.501	7007±239	6567±247	6850±241	6808±242	0.7851	0.02922
3.010	6132±239	5954±241	5868±246	5985±242	0.6902	0.01975
3.500	5770±231	5676±232	5945±226	5797±229	0.6685	0.01968



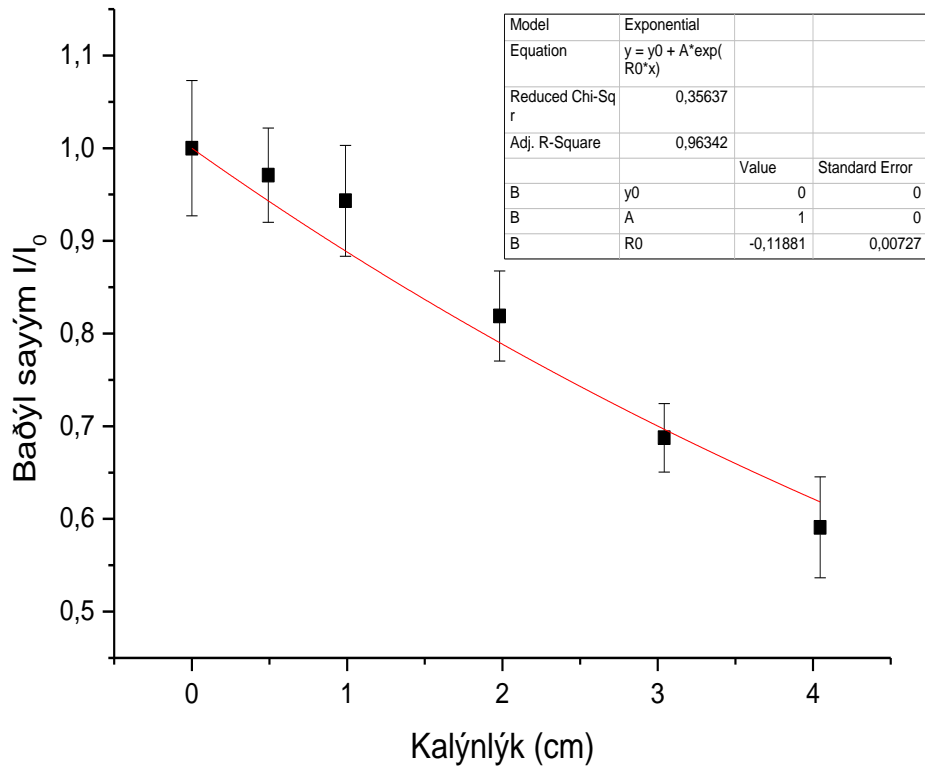
Ek 22. Al₂O₃.TiO₂ nm (disk), örneklerinin Cs -137 kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8500±174	8934±178	8669±177	8701±176	1	0.03556
4.92	8011±173	7957±177	7838±177	7935±176	0.9120	0.02509
9.89	7459±170	7046±179	7546±168	7350±172	0.8448	0.03733
19.82	6466±163	6025±173	6234±166	6241±167	0.7173	0.03111
30.42	4788±161	5156±163	4892±161	4945±162	0.5684	0.0261
4.0.46	3787±156	3687±162	3664±158	3713±159	0.4268	0.01305



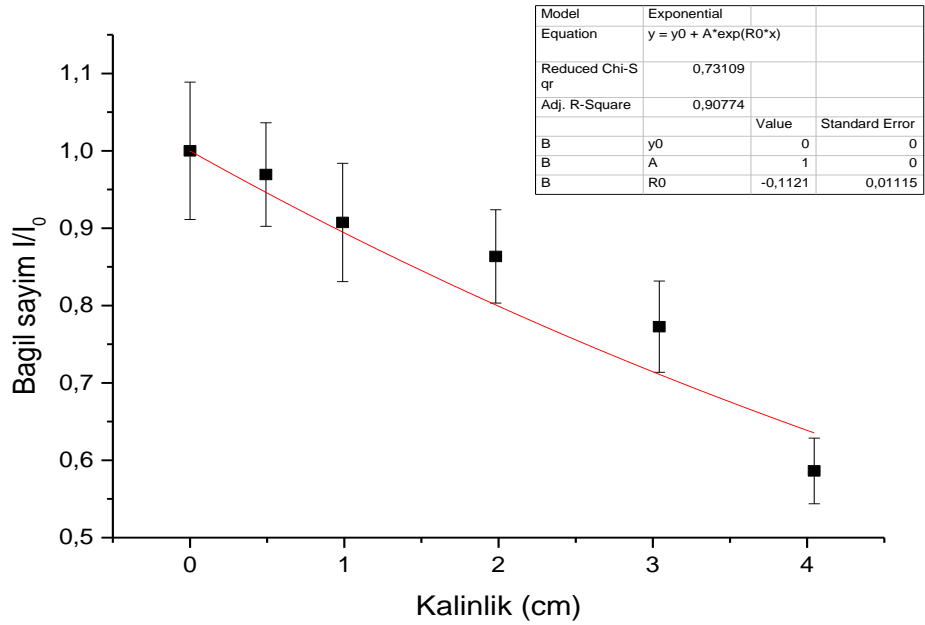
Ek 23. Al₂O₃.TiO₂ nm (disk), örneklerinin C0-60, 1173 keV kaynağı için bağlı sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8305±345	8929±331	8091±346	8442±341	1	0.0729
4.92	8106±322	8235±332	8247±330	8196±328	0.97089	0.0509
9.89	8138±326	7623±332	8127±326	7963±328	0.94326	0.0598
19.82	7106±324	6922±199	6712±333	6913±285	0.81895	0.0485
30.42	5726±316	5786±320	5899±317	5814±318	0.6875	0.0369
40.46	4923±311	5398±305	4644±318	4988±311	0.5909	0.0545



Ek 24. Al₂O₃.TiO₂ nm (disk), örneklerinin C0-60, 1332 keV kaynağı için bağıl sayım-kalınlık değerleri, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I ₁ (3600 s)	I ₂ (3600 s)	I ₃ (3600 s)	I _{ort}	I _{ort} /I ₀	d(I _{ort} /I ₀)
0	8642±238	8390±269	7648±302	7818±270	1	0.0888
4.92	7880±265	8235±332	7807±240	7974±279	0.9693	0.0669
9.89	7449±262	7054±280	7891±226	7465±256	0.9074	0.0764
19.82	7213±256	6855±254	7244±280	7104±263	0.8635	0.0603
30.42	6535±259	6497±233	6039±268	6357±253	0.7727	0.0590
40.46	4968±217	4629±270	4872±232	4823±240	0.5863	0.0425



ÖZGEÇMİŞ

15 Mart 1982 yılında Eminönü İstanbul' da doğdum. İlkokulu İstanbul Ticaret Odası İlkokulunda okuduktan sonra ortaokulu Marşal Fevzi Çakmak İlköğretim okulunda okuyup liseyi Eseneler Atışalanı Lisesinde tamamladım. 20005' de Trakya Üniversitesi Fizik Bölümünü kazanıp 2009 yılında bitirdim ve Trakya Üniversitesi' nden pedagojik formasyon almaya hak kazandım. Daha sonra Süleyman Demirel Üniversitesi'nden Eğitim Koçluğu ve Danışmanlığı Sertifikası aldım. Çeşitli kariyer merkezlerinde eğitim koçluğu yaptım. 2016 yılında Trakya Üniversitesi Fizik Bölümünden Nükleer Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladım. Evli ve bir kız çocuğu babasıyım.

BİLİMSEL FAALİYETLER

26-27 Nisan 2016 tarihinde Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği'nde düzenlenen *Isıl –Nötronik Etkileşimli Reaktör Fiziği* konulu çalıştay

Bu Tez çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü dergisinde yayınlanmıştır.